

Projet Tuteuré :

Synthèse bibliographique et enquête sur les utilisations du *Bacillus thuringiensis*



Tuteur Entreprise :
M. Sébastien LOUARN

Tuteur Universitaire :
M. Mongi BOUALLAGUI

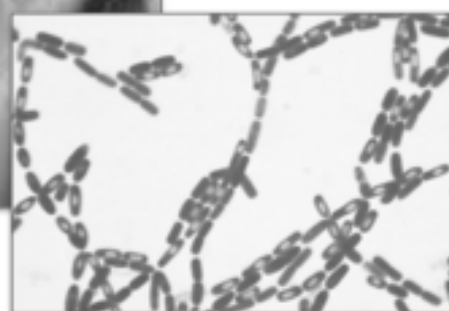
Auteurs :
Christine ARABOUX, Alix CHOUX, Loona KOULLEN,
& Cristina RADU

Licence Professionnelle « Protection des Cultures & Développement Durable »

Année Universitaire 2016-2017

Projet Tuteuré :

Synthèse bibliographique et enquête sur
les utilisations du *Bacillus thuringiensis*



Tuteur Entreprise :
M. Sébastien LOUARN

Tuteur Universitaire :
M. Mongi BOUALLAGUI

Auteurs :

Christine ARABOUX, Alix CHOUX, Loona KOULLEN,
& Cristina RADU

Licence Professionnelle « Protection des Cultures & Développement Durable »

Année Universitaire 2016-2017

Sommaire

Remerciements	3
Introduction	4
Synthèse bibliographique	
I. La découverte d'une bactérie entomopathogène	6
1.1 Qu'est-ce que le <i>Bacillus thuringiensis</i> et comment est-il exploité ?	6
1.2. Quel est le mode d'action du Bt ?	7
1.3 <i>Bacillus thuringiensis</i> & l'agriculture biologique	9
II. La commercialisation de produits à base de Bt	10
2.1 Produits à base de Bt autorisés en agriculture biologique	10
2.2 Produits à base de Bt non autorisés en agriculture biologique	11
III. Les limites et inconvénients du <i>B. thuringiensis</i>	13
3.1 Le <i>B. thuringiensis</i> et sa ressemblance avec le <i>B. cereus</i>	13
3.2 La toxicité du Bt	13
3.3 La résistance au Bt : une complication non négligeable	14
Enquête	
I. Contexte	16
II. Méthode	17
1.1 Elaboration du questionnaire	17
1.2 Elaboration des cibles	17
1.3 Enquête	17
III. Résultats et Discussion	18
3.1 Population enquêtée	18
3.2 Les utilisations du Bt	20
3.3 Recherche de corrélations	22
Conclusion	25
Bibliographie	26
Abréviations	27
Lexique	28
Annexe I	29
Annexe II	33

Table des figures

Figure 1 : Schéma simplifié du mode d'action de <i>Bacillus thuringiensis</i> dans l'intestin des ravageurs (Sanchis, 2016)	8
Figure 2 : Photographie de l'effet du Bt sur une chenille (Daniel L. Mahr).....	8
Figure 3 : Logo de certification biologique en France (a) et en Europe (b).....	9
Figure 4 : Origine géographique des agriculteurs (a) et Date de passage en bio (b).....	18
Figure 5 : Circuit de distribution	19
Figure 6 : Principaux ravageurs.....	19
Figure 7 : Productions invendables (a) et Les cultures concernées (b).....	20
Figure 8 : Sur quelle culture ? (a) et Contre quels ravageurs ? (b).....	20
Figure 9 : Modes d'utilisation du Bt	21
Figure 10 : Pourquoi avoir choisi le Bt ?	22

Table des tableaux

Tableau 1: Produit à base de Bt autorisés en AB	10
Tableau 2: Produits à base de Bt non autorisés en AB.....	11

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre reconnaissance envers les agriculteurs qui ont pris le temps de répondre à nos questions.

Nous tenons ensuite à remercier l'association IBB et plus particulièrement M. Sébastien LOUARN de nous avoir confié ce projet. Son aide et sa disponibilité nous ont permis de mener à bien notre enquête.

Nous remercions notre tuteur universitaire, M. Mongi BOUALLAGUI pour ses conseils dans l'élaboration de notre questionnaire et de notre support écrit.

Nous remercions également M. Frédéric JANNIC, notre professeur de statistiques, pour son aide lors de l'exploitation de nos résultats.

Pour terminer, nous remercions M. Louis COROLLER, pour nous avoir fourni des informations sur les cultures déclassées à cause du Bt.

Introduction

Le projet sur lequel nous avons travaillé nous a été confié par l'association Initiative Bio Bretagne. La tâche qui nous a été confiée est le recensement des pratiques agricoles concernant le Bt en Bretagne. Afin d'effectuer ce travail, nous avons élaboré un questionnaire et réalisé une enquête par téléphone et mail auprès d'agriculteurs bios. Cette enquête a pour but d'évaluer les pratiques des agriculteurs bios bretons. Mais étant donné notre absence de connaissances sur cette bactérie, son fonctionnement et ses utilisations, nous avons réalisé des recherches bibliographiques.

Bacillus thuringiensis ou Bt est une bactérie ubiquiste*, utilisée dans le domaine agricole, en protection des cultures, pour ses propriétés insecticides depuis les années 1950. C'est l'insecticide le plus utilisé au monde en Agriculture Biologique (AB). Au niveau taxonomique*, le Bt appartient au groupe « *Bacillus cereus sensu lato* ». Or ce groupe au sens large contient également des bactéries qui peuvent poser des problèmes sanitaires et entraîner des Toxi-Infections Alimentaires Collectives (TIAC)*. Ce groupe contient notamment *Bacillus cereus* qui est connu comme étant pathogène pour l'homme. De ce fait, il existe un seuil d'alerte pour le dénombrement total des bactéries de ce groupe. Cependant, ce seuil peut être atteint voir dépassé lors des traitements phytosanitaires à base de Bt. C'est dans ce contexte qu'a été créé le projet « Casdar Recherche-Technologique ».

Ce dernier a pour objectif de proposer une méthode innovante d'identification des souches de Bt, de qualification du risque associé et de leur suivi de la fourche à la fourchette. Il a débuté le 7 janvier 2016 et durera 42 mois. C'est dans ce projet Casdar que s'inscrit le projet BtID auquel participe IBB. C'est dans ce cadre qu'il nous a été demandé de réaliser cette enquête.

Dans un premier temps, nous présenterons une synthèse bibliographique sur la bactérie *Bacillus thuringiensis*. Pour cela, nous allons expliquer sa nature et son mode d'action. Puis, nous verrons comment il a été exploité depuis sa découverte, ainsi que son implication dans l'agriculture biologique. Puis, nous parlerons des différents produits commercialisés en France en agriculture biologique, et des produits commercialisés en agriculture conventionnelle. Enfin nous présenterons les limites d'utilisation de ces produits.

Dans une seconde partie, nous présenterons le contexte dans lequel le projet a été mené, puis l'élaboration de cette enquête, enfin nous présenterons les résultats que nous avons obtenus.

Synthèse bibliographique

I. La découverte d'une bactérie entomopathogène

1.1 Qu'est-ce que le *Bacillus thuringiensis* et comment est-il exploité ?

Bacillus thuringiensis (Bt) est une bactérie à Gram positif, aérobie* et sporulée*. Il fait partie d'un groupe de six bacilles* rassemblés sous le nom de groupe « *Bacillus cereus sensu lato* » :

- *B. anthracis*
- *B. cereus*
- *B. mycoides*
- *B. pseudomycoides*
- *B. weihenstephanensis*
- *B. thuringiensis*

C'est en 1901 que le *Bacillus thuringiensis* a été découvert, après avoir été isolé à partir du ver à soie par S. Ishiwata, bactériologiste japonais. Dix ans plus tard, l'allemand Ernst Berliner établit la description scientifique du *Bacillus thuringiensis*. C'est ensuite en 1933 que le Bt commence à être exploité, mais il faudra attendre les années 50 pour qu'il soit utilisé.

Aujourd'hui, le Bt occupe 50 % du marché mondial des bio-insecticides microbiens, ce qui représente 3 à 4 % du marché total des insecticides. Les formulations commerciales de Bt sont constituées de préparations de spores et de cristaux obtenues à partir de cultures réalisées en fermenteurs.

Un fermenteur ou bioréacteur, est un appareil dans lequel on multiplie des micro-organismes. Le terme « fermentation » prend en compte aussi bien le métabolisme aérobie qu'anaérobie*. Elle consiste à multiplier la biomasse de microorganismes vivants, et éventuellement à utiliser son métabolisme. Le processus de fabrication du Bt est le suivant :

- Un premier lot de Bt est inoculé.
- La culture est transférée dans un fermenteur afin d'obtenir la première génération de Bt. Les paramètres physiques (pH, température, aération et agitation) sont contrôlés par un ordinateur.
- À la fin du processus de fermentation, le principe actif est séparé du mélange par divers procédés. Ces procédés peuvent varier en fonction du produit souhaité, de ses caractéristiques et de la souche exploitée.

Il existe plusieurs variétés de Bt en fonction de la nature de la toxine synthétisée. Selon la souche, le Bt peut être utilisé dans plusieurs domaines d'application.

- **La santé :**

Le Bt est largement employé dans la lutte contre les espèces de moustiques des genres *Aedes* et *Culex*, notamment le long des littoraux. Ces moustiques sont vecteurs d'arbovirus*, comme par exemple le paludisme.

- **En forêt :**

En forêt, le Bt est utilisé pour contrôler les chenilles processionnaires (du genre *Thaumetopoea*), la tordeuse grise du mélèze (*Zeiraphera diniana*), ou le Bombyx cul brun (*Euproctis chrysorrhoea*).

- **Arboriculture :**

Pour les cultures d'arbres fruitiers, le Bt est utilisé contre la teigne de l'olivier (*Prays oleae*) et contre le carpocapse du pommier et du poirier (*Cydia pomonella*). En vignoble, les préparations à base de Bt sont homologuées pour lutter contre deux vers de la grappe : Eudémis (*Lobesia botrana*) et Cochylis (*Eupoecilia ambiguella*).

- **Horticulture ornementale :**

Récemment, il a été utilisé pour lutter contre la pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*), une espèce envahissante arrivée depuis peu en France et qui provoque des dégâts considérables sur les haies.

- **Maraichage :**

En cultures maraîchères, le Bt permet de contrôler plusieurs ravageurs du chou : la piéride du chou (*Pieris brassicae*), la noctuelle du chou (*Mamestra brassicae*) et la teigne des crucifères (*Plutella xylostella*). Le Bt est également utilisé contre des noctuelles (du genre *Agrotis*) qui s'attaquent à un grand nombre de cultures légumières dont la carotte, la tomate, les espèces de crucifères, etc.

1.2. Quel est le mode d'action du Bt ?

Le Bt a la particularité de synthétiser des cristaux protéiques* aux propriétés entomopathogènes* lors de sa sporulation*. En effet, les cristaux ont, selon les souches, une activité larvicide sur différentes espèces d'insectes appartenant à trois ordres : Lépidoptères, Coléoptères et Diptères. Ces cristaux sont principalement constitués de protoxines* : « Crystal » noté Cry et « Cytolytic » noté Cyt. Ils sont également appelés δ -endotoxines. Ces toxines sont hautement spécifiques à leurs insectes cibles et sont également biodégradables. Par conséquent, le Bt a été envisagé comme alternative pour le contrôle des insectes nuisibles dans l'agriculture, et des vecteurs de maladies (Bravo et al., 2007).

Il existe de nombreuses souches de Bt. Parmi elles, certaines peuvent se révéler toxiques pour divers organismes. En France, 4 variétés sont homologuées : aizawai (BTA), tenebrionis (BTT), israelensis (BTI) et kurstaki (BTK). Cette dernière est divisée en 3 autres pathovars : ABTS-351, EG 2348 et SA-11. Les variétés kurstaki et aizawai sont efficaces contre une grande quantité d'espèces de lépidoptères. La variété tenebrionis est homologuée pour lutter principalement contre les coléoptères ("Biopesticides - ephytia," 2014). La bactérie *Bacillus thuringiensis var. israelensis* a été isolée en 1976, en Israël. Elle est actuellement utilisée au Canada pour contrôler les populations de moustiques et de mouches noires. En France la souche a été approuvée en 2014, mais il n'existe pas encore de produit avec cette souche (Lacoursière, 2017).

Comme dit précédemment, le Bt produit des cristaux protéiques nocifs pour les insectes qui se lient aux membranes de leur tube digestif et nuisent à leur fonctionnement. En effet, après avoir été disséminé sur la culture, le Bt sera ingéré et digéré par l'insecte cible. Après ingestion d'un mélange de spores et de cristaux, le pH alcalin de l'intestin entraîne la solubilisation de ces derniers et conduit à la libération de protoxines ; celles-ci sont ensuite activées par les protéases intestinales de l'insecte (figure 1). Les toxines activées peuvent alors traverser la membrane et aller se fixer spécifiquement sur des récepteurs présents à la

surface de l'épithélium intestinal, provoquant en quelques minutes la paralysie du tube digestif et la lyse* des cellules épithéliales*. (Aronson and Shai, 2001; Bravo et al., 2007; De Maagd et al., 2001).

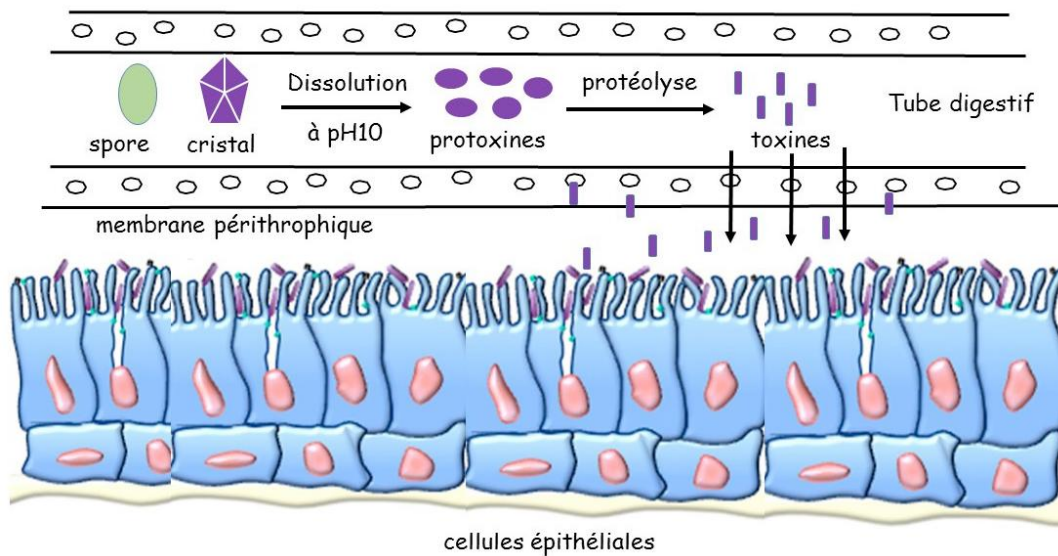


Figure 1 : Schéma simplifié du mode d'action de *Bacillus thuringiensis* dans l'intestin des ravageurs (Sanchis, 2016)

Les insectes vulnérables cessent de s'alimenter dans les heures qui suivent l'ingestion du Bt et meurent généralement dans les 2 à 5 jours qui suivent (figure 2). La spécificité du Bt se situe dans le fait que certaines enzymes particulières de l'estomac doivent activer les protéines en forme de cristaux pour qu'elles deviennent toxiques. Dans des conditions normales, la protéine en forme de cristal n'est pas active. Elle est donc inoffensive pour les mammifères et la majorité des insectes qui ne possède pas l'enzyme permettant d'activer la toxine. Elle est surtout efficace contre les larves des insectes ciblés, qui sont plus vulnérables étant donné qu'elles sont relativement petites. Une fois dans l'environnement, la toxine du Bt se dégrade rapidement (1 à 4 jours) après exposition à la lumière du soleil et aux microorganismes. Le Bt ne peut donc pas être utilisé en traitement préventif et il convient de renouveler le traitement curatif tous les 3 à 7 jours en cas de forte infestation (Sanchis, 2014).

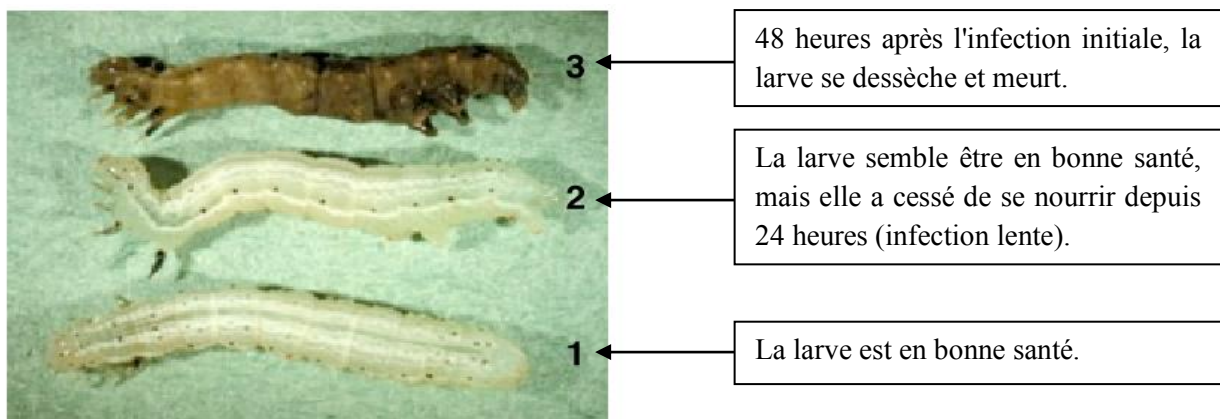


Figure 2 : Photographie de l'effet du Bt sur une chenille (Daniel L. Mahr)

1.3 *Bacillus thuringiensis* & l'agriculture biologique

L'IFOAM* définit l'agriculture biologique comme étant un système de production qui maintient la santé des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle s'appuie sur des processus écologiques et sur la biodiversité. Ainsi, elle exclut l'usage des produits chimiques de synthèse, d'OGM* et limite les intrants. L'agriculteur biologique doit donc respecter des contraintes et un cahier des charges afin d'obtenir le label bio (figure 3) et pouvoir vendre ses produits.



Figure 3 : Logo de certification biologique en France (a) et en Europe (b)

Il existe deux façons de réguler les populations de bio-agresseurs. La lutte physique comprend l'ensemble des méthodes faisant appel à des moyens physiques et mécaniques. La lutte biologique consiste à utiliser des organismes vivants antagonistes* ou leurs produits pour contrôler d'autres organismes nuisibles.

Dans notre cas, le Bt est utilisé comme moyen de lutte biologique par inondation. C'est à dire que la population de l'agent biologique est augmentée artificiellement afin de lutter contre le bioagresseur. Selon le règlement européen RCE 889/2008, le Bt est aussi bien utilisé en agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique (Desfemmes, 2012). Il est à la fois l'espèce la plus utilisée et celle qui offre les potentialités insecticides les plus intéressantes dans la protection des végétaux. En 2014, les produits autorisés en AB étaient Delfin, Novodor Fc, Xentari et Dipel DF. Cela fera l'objet d'un développement plus approfondi dans la partie II.

II. La commercialisation de produits à base de Bt

2.1 Produits à base de Bt autorisés en agriculture biologique

Tableau 1 : Produits à base de Bt autorisés en AB (ephy-anses)

Substance active	Spécialité commerciale	Société	Risques	Maladie ou ravageur ciblé	Culture concernée	Dose/ha	*DAR (j)	Formulation	AMM
<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i>	DELFIN (<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> souche SA-11)	CERTIS EUROPE BV	Sensibilisation cutanée, allergies cutanées	Noctuelles	Maïs doux et haricot	1.5 kg	3	Granules dispersibles dans l'eau	Fin 2012
				Noctuelles	Laitue, pissenlit	0.75 kg			
				Teigne du poireau	Ail, échalote, oignon et poireau	0.6 kg			
				Pyrale du maïs	Haricot	1 kg			
				Chenilles défoliatrices et des fruits	Tomate	1.5 kg			
	DIPEL DF, (<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> souche ABTS351)	SUMITO CHEMICAL AGRO EUROPE SAS	Sensibilisation	Noctuelles	Artichaut	0.6 kg	3	Granules dispersibles dans l'eau	04/04/2003
				Piérade du chou	Chou	0.5 kg			
				Noctuelles défoliatrices	Traitement généraux	0.75 kg			
				Pyrale du maïs	Haricots	0.75 kg			
				Chenilles défoliatrices et des fruits	Tomate	0.75 kg			
<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>tenebrionis</i>	NOVODOR FC	VALENT BIOSCIENCE S	Allergies cutanées, irritations	Doryphore	Aubergine et pomme de terre	5 L	3	Concentré soluble	01/02/2001
<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i>	XENTARI	VALENT BIOSCIENCE S	Irritant pour l'organisme	Piérade du chou	Chou	0.5 kg	3	Granules dispersibles dans l'eau	07/06/2002
				Chenilles défoliatrices et des fruits	Tomate	1 kg			
				Noctuelles	Artichaut	0.75			

❖ Pour *Bacillus thuringiensis var. kurstaki*, deux produits sont commercialisés et autorisés en AB sous le nom de DELFIN et DIPEL DF. Les souches de ces deux produits sont différentes. En général, ces derniers sont utilisés contre les même ravageurs mais pas aux mêmes doses. De plus le DELFIN à été mis sur le marché en 2012, donc plus récemment que le DIPEL DF. Le traitement avec le DELFIN peut être renouvelé tous les 10 à 12 jours selon les cultures. En revanche, pour le DIPEL DF, il faut attendre plutôt 14 jours.

❖ Le *Bt var. tenebrionis* est commercialisé sous le nom de NOVODOR FC en AB, depuis 2001. Il est utilisé uniquement contre les doryphores. Le traitement peut être renouvelé tous les 5 à 7 jours en fonction de l'activité des bio-agresseurs et de la croissance des cultures.

❖ Le *Bacillus thuringiensis subsp. aizawai* est commercialisé sous le nom de XENTARI. Il est mis sur le marché depuis 2002. Le traitement peut être renouvelé tous les 10 jours.

2.2 Produits à base de Bt non autorisés en agriculture biologique

Tableau 2 : Produits à base de Bt non autorisés en AB (ephy-anses)

Substance active	Spécialité commerciale	Société	Risques	Maladie ou ravageur ciblé	Culture concernée	Dose	*DAR (j)	Formulation	AMM
<i>Bacillus thuringiensis var. kurstaki</i>	DIPEL DF JARDIN	SUMITOMO CHEMICAL AGRO EUROPE SAS	Irritant, irritant pour les organismes aquatiques	Chenilles phytophages	choux, oliviers, tomates, poireaux, poivrons ...	0.5g/10m ² à 1g/10m ²	5	Granulés dispersibles	29/09/2015
				Chenilles foreuses des fruits	pommiers, vignes, pêchers ...	1g/10m ²			
	LEPINOX PLUS (<i>Bacillus thuringiensis var. kurstaki souche EG-2348</i>)	CBC EUROPE	Irritant	Chenilles phytophages	pommiers, choux, artichauts, betteraves, concombres	1kg/ha	3	Poudre mouillable	16/11/2016
				Chenilles foreuses des fruits	Pêchers, pruniers				
Tordeuse de la grappe	Vigne								

	FORAY 48 B (<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>var. kurstaki</i> <i>souche abts 351</i>)	VALENT BIOSCIENCES	Toxique pour les organismes aquatiques	Chenilles phytophages	Arbres et arbustes :	3L/ha à 4L/ha	/	Suspension concentrée	01/12/1989
	DELFIN JARDIN (<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>var. kurstaki</i> <i>souche sa-11</i>)	CERTIS EUROPE BV	Irritant, allergies	Chenilles phytophages	Arbres et Arbustes, Artichauts, framboisier, haricots, riz	0.6 kg/ha à 0.75 kg/ha	3	Granules dispersibles dans l'eau	fin 2012
Chenille foreuse des fruits				amandiers	0.1 kg/hL	3			
Acarions				pruniers	0.1 kg/hL	3			

❖ Le *Bt var. kurstaki* est commercialisé sous le nom de DIPEL DF JARDIN. Ce produit peut être utilisé dans les jardins par les amateurs depuis 2015. Il est généralement employé contre les chenilles phytophages et les chenilles foreuses des fruits. Le traitement peut être renouvelé tous les 10 jours.

❖ Cette souche est aussi commercialisée sous le nom de LEPINOX PLUS, depuis fin 2016. Cette application peut être renouvelée tous les 6 à 8 jours.

❖ Le *Bt var. kurstaki* est commercialisé sous le nom de FORAY 48 B depuis la fin de 1989. Il est principalement utilisé contre les chenilles phytophages. L'application de ce produit peut se renouveler tout les 10 à 14 jours.

❖ Le *Bt var. kurstaki* est aussi commercialisé sous le nom de DELFIN JARDIN, depuis la fin 2012. La particularité de ce produit est qu'il peut s'utiliser contre les acariens.

Depuis les années 1970, 35 produits à base de Bt ont été retirés du marché. Pour certains produits, les causes de ce retrait sont des effets secondaires tels que des irritations aussi bien pour les yeux que la peau ainsi que des risques toxicologiques. Pour d'autres produits, les causes de ces retraits sont plutôt environnementales puisqu'ils sont toxiques pour les organismes aquatiques et peuvent avoir des effets dangereux pour l'environnement, principalement l'environnement aquatique (E-phy ANSES, 2017).

III. Les limites et inconvénients du *B. thuringiensis*

3.1 Le *B. thuringiensis* et sa ressemblance avec le *B. cereus*

Malgré sa forte utilisation en tant que bio-pesticide en agriculture biologique, le *Bacillus thuringiensis* présente cependant des limites. Son appartenance au groupe d'espèces « *Bacillus cereus sensu lato* » présente en effet quelques inconvénients. C'est le *Bacillus* le plus recherché dans les denrées alimentaires car il est à l'origine de sévères intoxications. La plus grande différence entre les six espèces de « *Bacillus cereus sensu lato* » est leurs caractères de virulence. Des tests permettant de distinguer *B. thuringiensis* de *B. cereus* existent mais ils ne sont généralement pas effectués lors de l'analyse de routine des productions (ANSES, 2011).

Un cas de déclassement a été observé en 2013, il est la conséquence de l'absence de distinction entre les différentes espèces de *Bacillus*. La DGCCRF* a lancé une alerte sur des lots de persil frisé. On y avait détecté des *B. cereus* présumés à une valeur dépassant le seuil d'alerte pour les denrées alimentaires qui est de 10^5 ufc/g. En effet, l'analyse de plusieurs lots a montré une moyenne proche de 9×10^5 ufc/g. Il se trouve que les lots de persil déclassés étaient issus de l'agriculture biologique et avaient été traités avec une souche de *Bt*. À cause de sa ressemblance avec le *B. cereus*, la présence de *Bt* sur le persil a rendu ce lot positif à la recherche de *B. cereus* (Mortureux, 2013).

Ainsi afin de résoudre le problème d'identification des souches du groupe « *B. cereus sensu lato* », l'utilisation de méthodes moléculaires performantes et en routine est actuellement étudiée. Cette recherche est effectuée dans le cadre du projet BtID.

Cependant, étant donné que le *Bt* appartient à un groupe contenant des bactéries pouvant poser des problèmes sanitaires, il reste convenable de se demander si le *Bt* ne présente réellement aucuns risques en termes de toxi-infections alimentaires.

3.2 La toxicité du *Bt*

D'après l'ANSES, les risques que présentent les souches de *B. thuringiensis* en termes de toxi-infections alimentaires ne sont pas clairement établis. En l'état actuel, il reste un certain nombre de données manquantes, notamment :

- des données sur le potentiel de toxicité de chaque souche.
- des données sur les résidus spécifiques des souches.
- une méthode d'identification spécifique à chaque souche.

En l'absence de données précises, il est jugé prudent de maintenir un seuil d'alerte de 10^5 ufc/g de « *B. cereus sensu lato* ». Pour le moment, les seules données disponibles sur la toxicité du *Bt* semblent indiquer qu'il est inoffensif, à l'exception de certaines souches. Par exemple, un organisme québécois, la SAgE*, a effectué des tests de toxicité sur des animaux de laboratoire (de niveau 1)*. Il a été démontré que les variétés *kurstaki* et *tenebrionis* ne sont ni toxiques ni pathogènes. Seul *Bacillus thuringiensis var aizawai*, sous forme de poudre dans la préparation Xentari, se trouve être faiblement toxique par voie orale et cutanée ainsi que

par inhalation (SAGe, 2017). En ce qui concerne les effets à long terme, l'EPA* a effectué des tests sur l'exposition globale par voie orale, cutanée ou respiratoire. Ils ont trouvé que l'exposition à des populations de *Bacillus thuringiensis* présentes à l'état naturel dans le sol, ou entrant dans la composition de spécialités insecticides, ne devraient pas poser de risques pour la santé humaine.

Bacillus thuringiensis var kurstaki est faiblement toxique chez les abeilles avec une DL₅₀ de 23.2 µg/individu. La variété *tenebrionis* présente une toxicité minimale pour les abeilles domestiques et *aizawai* peut s'avérer toxique pour les insectes.

Dans le sol, les toxines insecticides produites par le Bt peuvent se conserver pendant plusieurs mois mais leur demi-vie n'est que d'un à quatre jours sur le feuillage. Enfin, la contamination des eaux souterraines n'est pas un problème en ce qui concerne *Bacillus thuringiensis* ainsi que les toxines qu'il produit étant donné qu'il ne pénètre pas profondément dans les sols.

3.3 La résistance au Bt : une complication non négligeable

Le Bt étant un bio-insecticide, il n'est pas épargné par les phénomènes de résistance acquise. En effet, il a été montré qu'un mécanisme de résistance au *B. thuringiensis var kurstaki* s'est développé chez *Ploidia interpunctella*, la Pyrale indienne des fruits secs. Une autre forme de résistance a également été observée chez *Cules quinquefasciatus*, une espèce de moustique, contre le *B. thuringiensis var israelensis*. Il convient alors d'utiliser le Bt de façon raisonnée, afin de ne pas le rendre totalement obsolète (Oppert et al., 1994).

Selon Vincent Sanchis, des améliorations peuvent encore être apportées à la lutte biologique à base de Bt. En effet, dans un rapport de 1996, il explique que le principe est de construire des toxines chimères afin d'accroître leur activité ou de contourner la résistance d'une lignée d'insectes. Ils peuvent également modifier les souches bactériennes en vue d'élargir leur spectre d'activité ou d'améliorer la persistance des toxines dans l'environnement. La recherche de nouvelles toxines insecticides, chez le Bt ou chez d'autres micro-organismes, est aussi une voie qui peut fournir de nouvelles armes pour lutter contre les insectes nuisibles (Sanchis et al., 1996).

Ainsi, étant donné que le Bt s'avère être particulièrement efficace contre les lépidoptères, ce produit est apprécié des maraîchers de crucifères. Comme la Bretagne est connue pour ses cultures de crucifères, on peut imaginer une forte pression des ravageurs sur ces cultures, et donc une utilisation plus répandue. C'est dans ce cadre que nous avons contacté des maraîchers bio bretons afin d'étudier leur utilisation du Bt.

Enquête

I. Contexte

Le commanditaire de notre travail, Initiative Bio Bretagne (IBB), est une association bretonne. Il s'agit d'un réseau d'entreprises et d'acteurs qui contribuent au développement de la filière Agriculture Biologique (AB), de ses activités et de son économie. Cette association a été fondée en 1995 par des professionnels de la filière avec l'appui du Conseil Régional de Bretagne et de l'Etat.

Les activités d'IBB s'inscrivent en 3 pôles distincts :

❖ La promotion de l'AB et des produits biologiques

La première mission d'IBB est de valoriser les produits bios d'origine bretonne. Elle ne vise pas que les consommateurs mais aussi les professionnels en mettant en valeur les acteurs de la filière.

❖ L'animation des filières biologiques

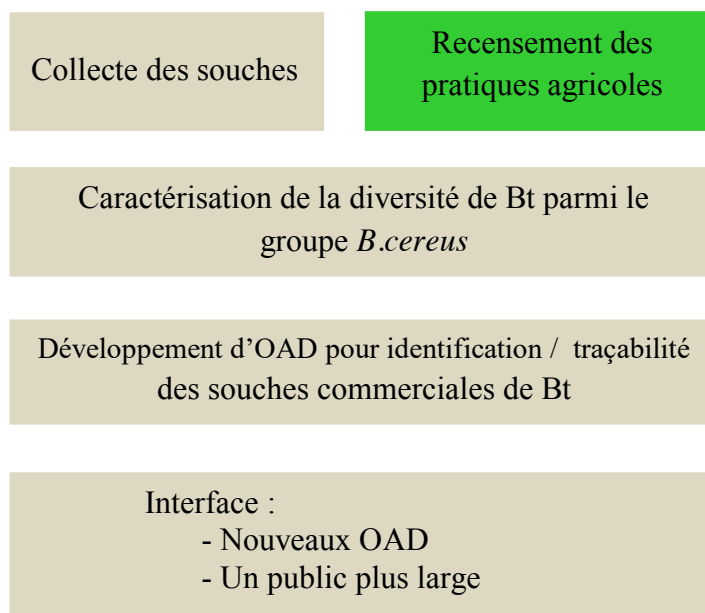
IBB cherche à instaurer un dialogue entre les acteurs de la filière bio en leur donnant accès à l'information et en leur permettant de construire de nouveaux projets.

❖ La recherche-expérimentation en Agriculture Biologique

Il y a deux axes principaux en ce qui concerne l'implication d'IBB dans la recherche et l'expérimentation. Elle gère la coordination d'un programme régional de recherche en AB via la Commission Interprofessionnelle de Recherche en Agriculture Biologique (CIRAB). Elle travaille également à la récolte de références techniques en AB sur la plateforme agrobiologique d'IBB à Suscinio (29).

Notre travail au sein d'IBB s'inscrit dans le projet BtID. Le projet BtID a pour objectif de proposer des méthodes innovantes d'identification des souches de *Bacillus thuringiensis*, de qualification du risque associé et de leur suivi de la fourche à la fourchette. Ce projet s'inscrit lui-même dans le Projet CASDAR 2016-2019 financé par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.

Le projet s'inscrit en 5 grandes actions :



II. Méthode

1.1 Elaboration du questionnaire

Pour réaliser le questionnaire (annexe I) qui nous a servi lors de cette enquête, un document réalisé par l'ITAB nous a été donné par M. LOUARN. Ce questionnaire n'étant pas conçu à la base pour une enquête rapide par téléphone, nous avons dû le modifier.

Nous avons tout d'abord enlevé les questions qui n'étaient pas pertinentes par rapport à notre enquête :

- ❖ questions sur l'état matrimonial et la succession de l'agriculteur
- ❖ questions concernant les viticulteurs
- ❖ question sur le lieu de stockage
- ❖ questions et détails économiques

Nous avons ensuite reformulé les questions pour qu'elles soient plus simples et plus compréhensibles, que l'échange téléphonique soit plus fluide et afin que le questionnaire ne dure que quelques minutes. Au départ les questions personnelles se trouvaient dès le début de l'entretien. Cependant, il était plus judicieux de placer en premier les questions traitant de notre sujet afin de « rassurer » les agriculteurs. Ainsi, les personnes n'ayant pas le temps ou l'envie de nous donner plus d'informations sur eux ou leur exploitation auront quand même répondu aux questions concernant leur utilisation du Bt.

Afin de simplifier l'exploitation des résultats, nous avons décidé d'exploiter notre questionnaire à l'aide de « Google forms ». Certaines questions ont par la suite été transformées en Questions à Choix Multiples (QCM) :

- ❖ le circuit de distribution
- ❖ les autres cultures
- ❖ la formation effectuée
- ❖ le statut juridique

1.2 Elaboration des cibles

Afin de réaliser une liste d'agriculteurs à contacter, nous avons utilisé en priorité les données disponibles sur le site de la coopérative Biobreizh (29). Nous nous sommes d'abord concentrées sur les producteurs de crucifères, puis nous avons étendu nos appels à tous les maraichers. Lorsque nous avons appelé tous les numéros disponibles sur le site Biobreizh, nous avons cherché des numéros d'autres maraichers sur l'annuaire de l'Agence Bio.

1.3 Enquête

Lors de notre enquête, nous avons contacté 180 personnes entre février et mars 2017.

Nos premiers appels nous ont permis de « tester » notre questionnaire puis de l'améliorer. Nous avons remarqué que les questions ouvertes sans propositions n'obtenaient pas de réponses et n'ont donc pu être exploitées.

Toutes ces modifications nous ont permis de prendre moins de temps lors de nos appels. Lors de nos premiers appels, la conversation avec l'agriculteur durait 7-8 min alors qu'après ces changements, la moyenne était de 4 min.

Nous avons remarqué que lors des appels entre 12h00 et 14h00, ou après 18h30, les agriculteurs décrochaient plus souvent et avaient plus de temps pour nous répondre. De plus, lorsqu'on appelait sur un numéro de portable, l'agriculteur répondait plus facilement et on avait plus de chance de tomber directement sur la personne concernée. Nous n'avons pas seulement passé des appels, nous avons aussi envoyé 52 mails. Cependant seules 4 personnes nous ont répondu, les contacts téléphoniques semblent donc donner de meilleurs résultats.

III. Résultats et Discussion

3.1 Population enquêtée

Lors de notre enquête, nous avons démarché des agriculteurs bretons exclusivement. Etant donné que nous avons commencé par utiliser une base de données d'agriculteurs finistériens, la moitié de nos réponses proviennent de ce département (annexe II) (figure 4a). De plus, on observe une certaine diversité dans les dates de conversion en agriculture biologique (figure 4b). Nous ne nous sommes donc pas concentrées sur des exploitations récentes ou déjà installées depuis longtemps mais nous avons interrogé un panel assez varié d'agriculteurs.

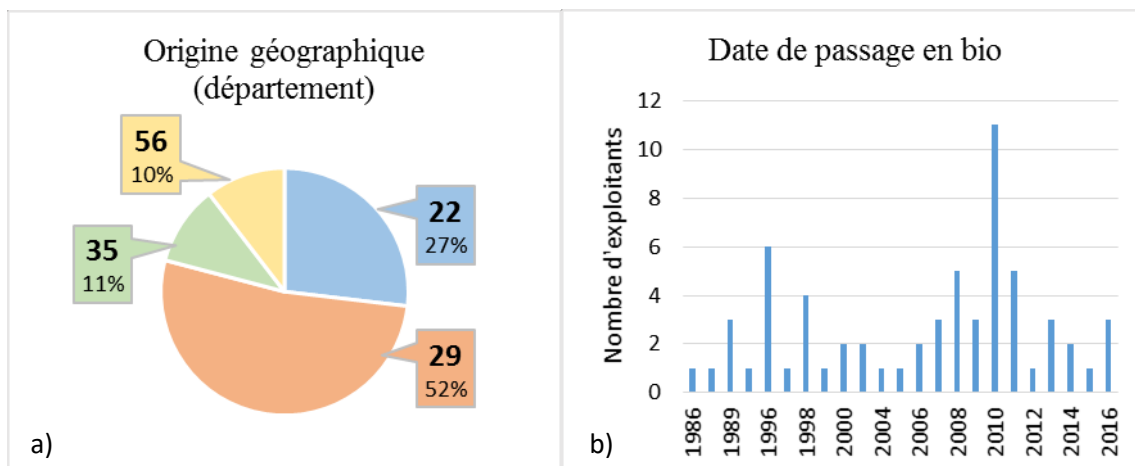


Figure 4 : Origine géographique des agriculteurs (a) et Date de passage en bio (b)

Parmi les 180 personnes que nous avons contactées, 67 ont répondu à l'enquête. On observe que 49% des agriculteurs utilisent le Bt. C'est sur les réponses de ces 33 personnes que nous travaillerons par la suite.

Nous leur avons tout d'abord posé des questions sur la commercialisation de leurs produits. 76% des producteurs vendent leurs produits frais et non transformés. Les autres vendent également des produits frais avec une partie de légumes industrie. Ces chiffres sont cohérents avec la demande en légumes bios transformés qui est très faible.

En ce qui concerne le circuit de distribution utilisé (figure 5, page suivante), on observe que la plupart des agriculteurs revendent leurs produits par le biais des coopératives ou en vente directe. Le nombre important de maraichers faisant appel à leur cooperative peut

être expliqué par la garantie d'achat que représentent les contrats passés avec les coopératives. Cela permet donc une gestion des volumes produits sur la durée.

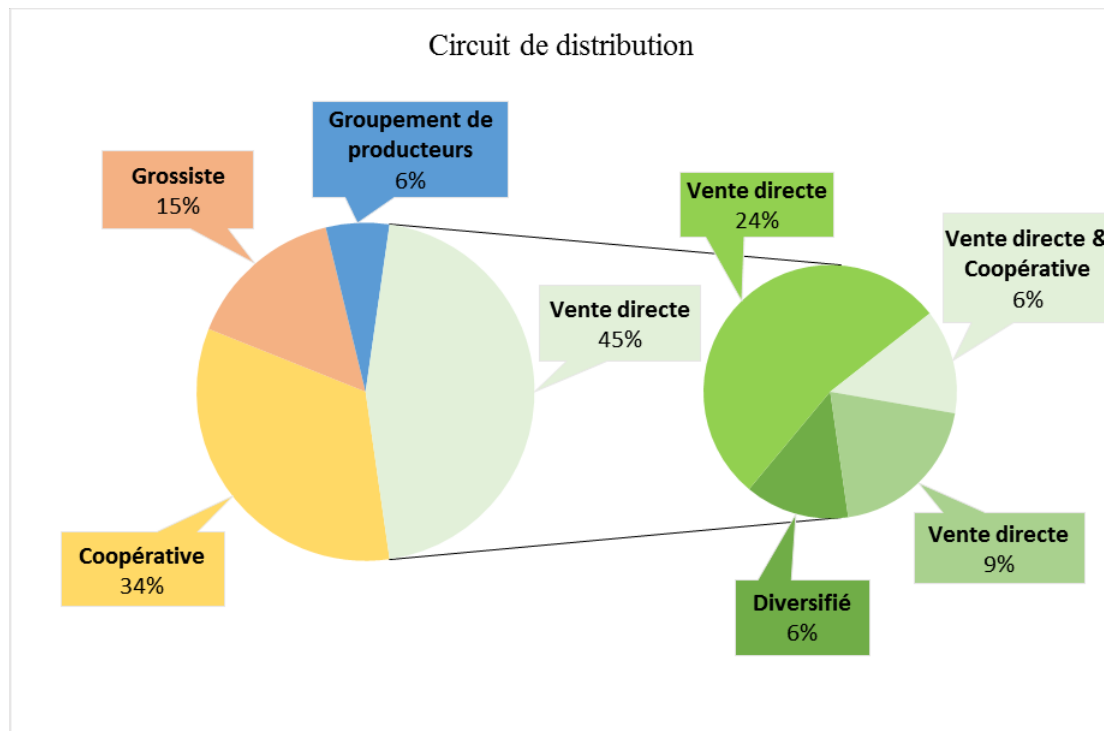


Figure 5 : Circuit de distribution

Sur leurs exploitations, les agriculteurs font état de plusieurs types de ravageurs (figure 6). Afin de lutter contre eux, 89% des producteurs interrogés ont mis en place un système de lutte intégrée : auxiliaires, filets, rotations, etc. De plus, on peut voir sur la figure ci-dessous que les pucerons et les chenilles sont les ravageurs que l'on retrouve le plus souvent. L'importance des chenilles pourrait montrer une certaine nécessité pour les agriculteurs d'utiliser des produits à base de Bt.

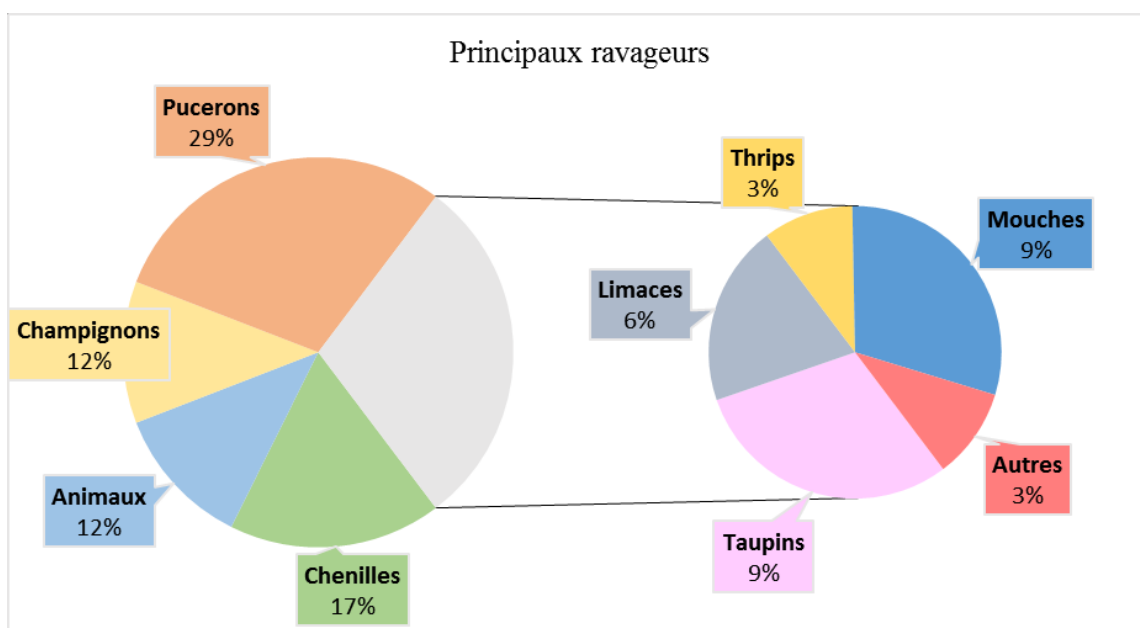


Figure 6 : Principaux ravageurs

Durant notre enquête, nous avons demandé aux agriculteurs s'ils avaient déjà eu des productions rendues invendables par des ravageurs. Aux vues des cas de déclassement qui ont été présentés dans la partie bibliographique, notre objectif était de savoir s'ils avaient déjà rencontré ce problème. Sur les 33 réponses que nous avons pu avoir, 42% des agriculteurs ont déjà eu des productions invendables (figure 7a). Parmi ces déclassements, 32% concernaient des crucifères. Ces productions ont cependant été rendues invendables à cause des ravageurs et non de problèmes sanitaires (figure 7b).

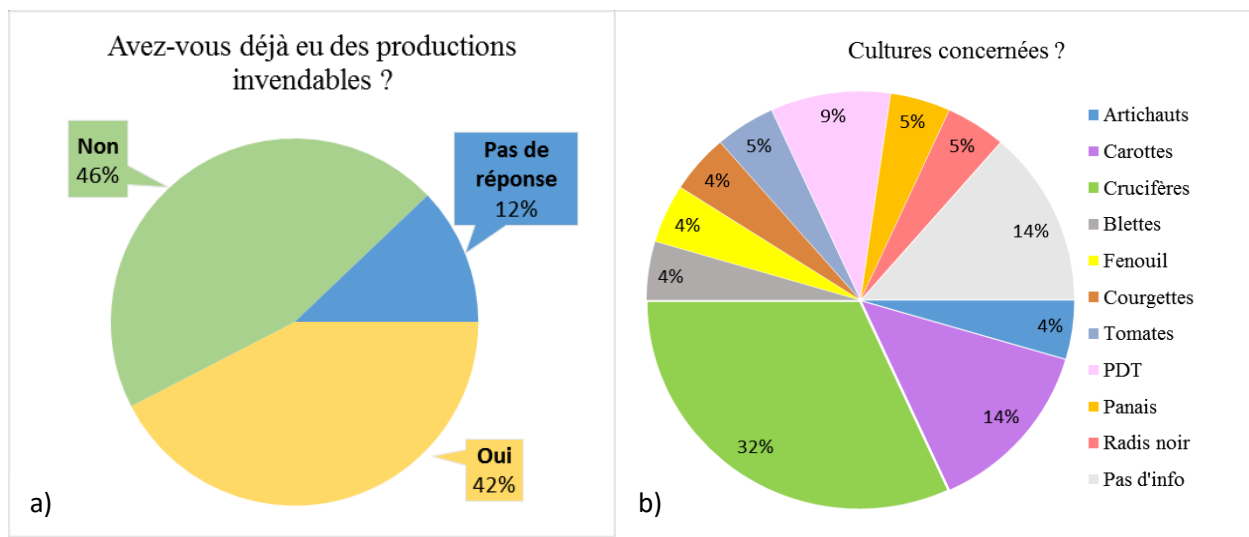


Figure 7 : Productions invendables (a) et Les cultures concernées (b)

3.2 Les utilisations du Bt

Après avoir fait le point sur les différents types d'exploitations auxquelles nous avons eu affaire, nous allons nous intéresser à l'utilisation du Bt par les agriculteurs bretons. La majorité utilise le Bt afin de traiter leurs cultures de crucifères (figure 8a) contre des chenilles (figure 8b).

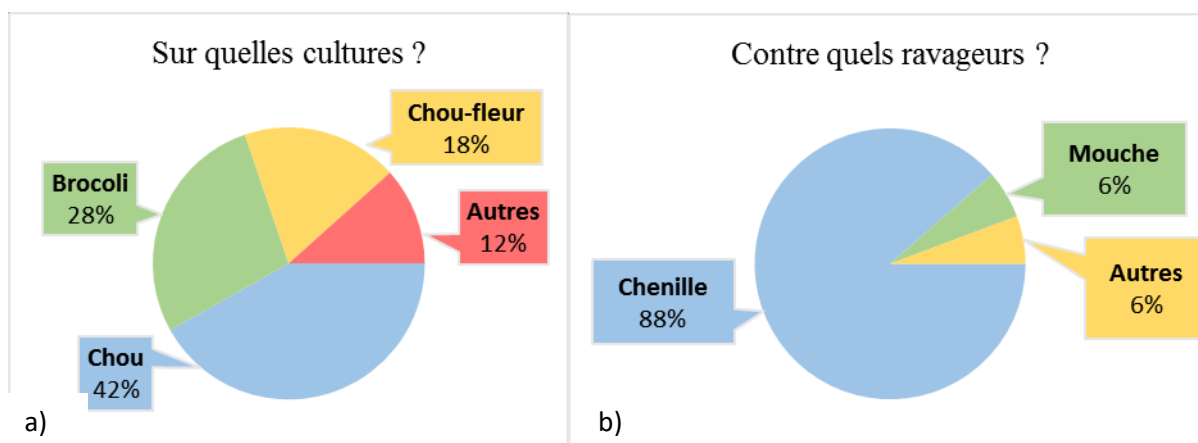


Figure 8 : Sur quelle culture ? (a) et Contre quels ravageurs ? (b)

Les deux chenilles qui sont visées par les traitements des maraichers interrogés sont la Piéride et la Noctuelle. Il s'agit en effet de l'usage « classique » qui est fait du Bt étant donné sa spécificité envers les lépidoptères. Cependant, quatre producteurs utilisent les produits à base de *Bacillus thuringiensis* contre d'autres ravageurs qui sont la mouche du chou-fleur, la mouche du poireau, la teigne et le doryphore. De la même manière, les crucifères sont les plus touchées par les attaques de chenilles, elles font donc l'objet du plus de traitements. On observe des traitements isolés sur des plants de pommes de terre, de tomates et de concombres.

Comme il a été présenté précédemment, les produits à base de Bt ont la particularité de ne pas pouvoir être conservés longtemps dans le milieu. Nous avons tout de même demandé aux maraichers quelles étaient leurs utilisations de ces produits et 88% d'entre eux les utilisent de manière curative lorsqu'ils observent une attaque de ravageurs (figure 9).

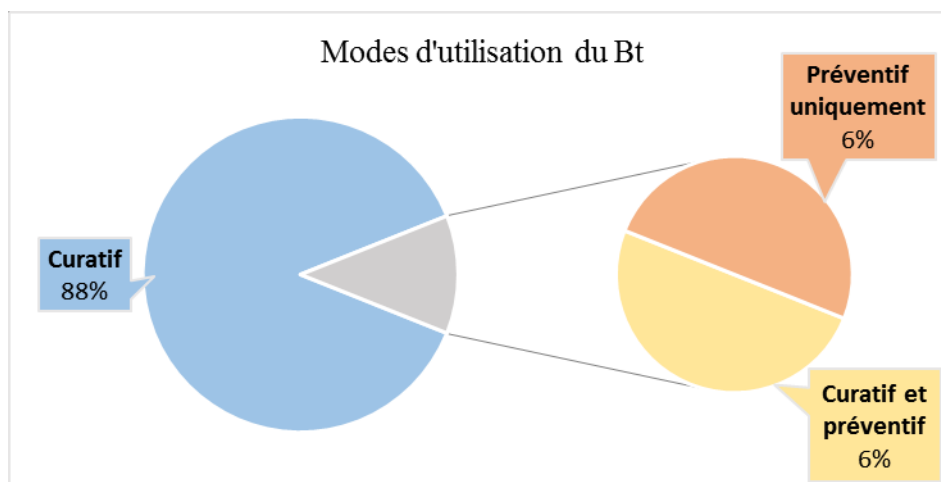


Figure 9 : Modes d'utilisation du Bt

Cependant, on peut observer que 4 agriculteurs sur les 33 participants à l'étude utilisent partiellement ou uniquement le Bt de manière préventive. De plus, les personnes interrogées n'ont pas semblé être renseignées sur les recommandations en matière de délais avant récolte pour les produits qu'ils utilisent. Ce dernier manque d'information peut être dû à des pratiques particulières : les agriculteurs traitant plusieurs semaines avant la récolte ne s'interrogent pas sur le nombre de jours à attendre avant de pouvoir récolter.

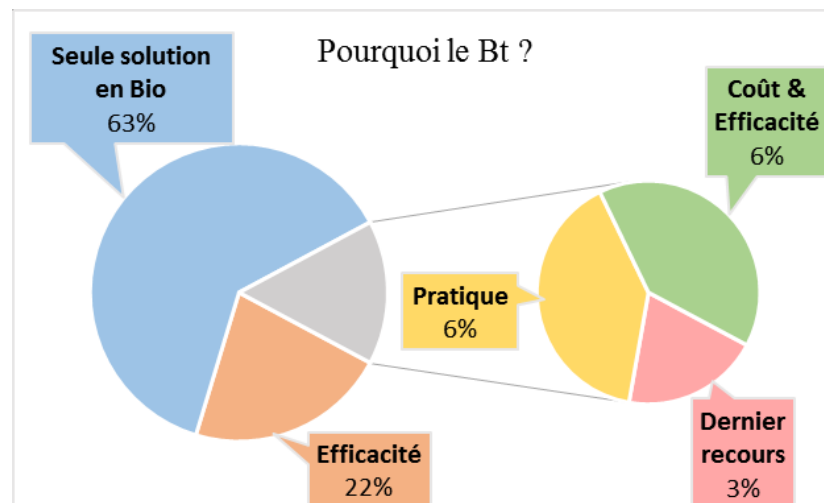


Figure 10 : Pourquoi avoir choisi le Bt ?

Lorsque nous avons demandé aux maraîchers les raisons pour lesquelles ils avaient choisi en premier lieu d'utiliser le Bt (figure 10), l'idée principale qui s'est dégagée de leurs réponses a été l'absence d'alternative à ce produit. En effet, 63% des agriculteurs nous disent n'avoir aucune autre solution pour protéger leurs crucifères. Ces réponses laissent penser à une « dépendance » au Bt étant donné l'absence d'alternatives. Cependant, à la question « Si le Bt venait à être interdit, serait-ce plus compliqué pour vous ? », près de 30% nous disent pouvoir faire avec si une telle interdiction survenait.

Ces derniers chiffres restent malgré tout assez faibles, surtout lorsque l'on prend en compte que certains agriculteurs ont répondu « non » car ils produisent peu de crucifères ou encore car ils n'utilisent pas systématiquement le Bt.

3.3 Recherche de corrélations

Grâce à la réalisation de Tests du Khi 2, nous avons cherché s'il pouvait y avoir une corrélation entre plusieurs facteurs étudiés, au risque de 5 %.

→ Tout d'abord nous avons cherché si l'on pouvait supposer une dépendance entre le nom commercial du produit utilisé par l'agriculteur et son département, et donc ça coopérative.

❖ Les hypothèses sont les suivantes :

H0 : Le nom commercial du produit utilisé semble ne pas dépendre du département de l'agriculteur.

H1 : Le nom commercial du produit utilisé semble dépendre du département de l'agriculteur.

❖ Test du Khi 2 :

$Khi\ 2_{calculé} = 29.93$ et $Khi\ 2_{alpha} = 36.42$

$Khi\ 2_{calculé} < Khi\ 2_{alpha}$, donc H0 est retenue

❖ Conclusion : Le nom commercial du produit utilisé semble ne pas dépendre du département de l'agriculteur, au seuil de risque de 5 %.

→ Ensuite nous avons cherché si l'on pouvait trouver une corrélation entre la satisfaction des agriculteurs vis-à-vis de ce produit et la fréquence d'utilisation des produits à base de Bt.

❖ Les hypothèses :

H0 : La satisfaction des agriculteurs vis-à-vis de ce produit semble ne pas dépendre de la fréquence d'utilisation des produits à base de Bt.

H1 : La satisfaction des agriculteurs vis-à-vis de ce produit semble dépendre de la fréquence d'utilisation des produits à base de Bt

❖ Test du Khi 2 :

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} = 9.93$ et $\text{Khi } 2_{\text{alpha}} = 16.82$

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} < \text{Khi } 2_{\text{alpha}}$, donc H0 est retenue

❖ *Conclusion : La satisfaction des agriculteurs vis-à-vis de ce produit semble ne pas dépendre de la fréquence d'utilisation des produits à base de Bt, au seuil de risque de 5%.*

→ Par la suite, nous avons cherché si l'on pouvait trouver un lien entre la fréquence d'utilisation des produits à base de Bt et le nombre d'hectare que cultive l'agriculteur.

❖ Les hypothèses :

H0 : La fréquence d'utilisation des produits à base de Bt semble ne pas dépendre du nombre d'hectares que cultive l'agriculteur.

H1 : La fréquence d'utilisation des produits à base de Bt semble dépendre du nombre d'hectares que cultive l'agriculteur.

❖ Test du Khi 2 :

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} = 10.81$ et $\text{Khi } 2_{\text{alpha}} = 16.82$

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} < \text{Khi } 2_{\text{alpha}}$ donc H0 est retenue

❖ *Conclusion :*

La fréquence d'utilisation des produits à base de Bt semble ne pas dépendre du nombre d'hectares que cultive l'agriculteur au seuil de risque de 5 %.

→ Pour continuer, nous avons cherché si l'on pouvait trouver une dépendance entre la fréquence d'utilisation du Bt et l'âge de l'agriculteur.

❖ Les hypothèses :

H0 : La fréquence d'utilisation du Bt semble ne pas dépendre de l'âge de l'agriculteur.

H1 : La fréquence d'utilisation du Bt semble dépendre de l'âge de l'agriculteur.

❖ Test du Khi 2 :

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} = 16.61$ et $\text{Khi } 2_{\text{alpha}} = 21.03$

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} < \text{Khi } 2_{\text{alpha}}$ donc H0 est retenue

❖ *Conclusion :*

La fréquence d'utilisation du Bt semble ne pas dépendre de l'âge de l'agriculteur, au seuil de risque de 5%.

→ Ensuite, nous avons cherché si l'on pouvait trouver un lien entre la fréquence d'utilisation du Bt et la date d'installation des agriculteurs.

❖ Les hypothèses :

H0 : La fréquence d'utilisation des produits à base de Bt semble ne pas dépendre de la date d'installation des agriculteurs

H1 : La fréquence d'utilisation des produits à base de Bt semble dépendre de la date d'installation des agriculteurs

❖ Test du Khi 2 :

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} = 24.55$ et $\text{Khi } 2_{\text{alpha}} = 21.03$

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} > \text{Khi } 2_{\text{alpha}}$ donc H0 est rejetée

❖ Conclusion :

La fréquence d'utilisation des produits à base de Bt semble dépendre de la date d'installation des agriculteurs, au risque de 5 %. Il semblerait que des agriculteurs installés récemment traitent moins souvent. Cette conclusion ne semble cependant pas représentative de la population car nous n'avons qu'un échantillon de 33 agriculteurs.

→ Pour continuer, nous avons cherché si l'on pouvait trouver une dépendance entre la fréquence d'utilisation du Bt et le niveau d'étude de l'agriculteur.

❖ Les hypothèses :

H0 : La fréquence d'utilisation du Bt semble ne pas dépendre du niveau d'étude de l'agriculteur.

H1 : La fréquence d'utilisation du Bt semble dépendre du niveau d'étude de l'agriculteur.

❖ Test du Khi 2 :

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} = 16.14$ et $\text{Khi } 2_{\text{alpha}} = 21.03$

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} < \text{Khi } 2_{\text{alpha}}$ donc H0 est retenue

❖ Conclusion :

La fréquence d'utilisation du Bt semble ne pas dépendre du niveau d'étude de l'agriculteur, au seuil de risque de 5%.

→ Enfin, nous avons cherché si l'on pouvait trouver une corrélation entre le choix de l'agriculteur d'utiliser le Bt en préventif ou en curatif et le niveau d'étude de l'agriculteur.

❖ Les hypothèses :

H0 : Le choix de l'agriculteur à utiliser le Bt en préventif ou en curatif semble ne pas dépendre du niveau d'étude de l'agriculteur.

H1 : Le choix de l'agriculteur à utiliser le Bt en préventif ou en curatif semble dépendre du niveau d'étude de l'agriculteur.

❖ Test du Khi 2 :

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} = 6.70$ et $\text{Khi } 2_{\text{alpha}} = 15.51$

$\text{Khi } 2_{\text{calculé}} < \text{Khi } 2_{\text{alpha}}$ donc H0 est retenue

❖ Conclusion :

Le choix de l'agriculteur à utiliser le Bt en préventif ou en curatif semble ne pas dépendre du niveau d'étude de l'agriculteur, au seuil de risque de 5 %.

Conclusion

Pour rappeler le contexte de notre étude, notre projet tuteuré s'est déroulé dans le cadre du projet BtID, lui-même s'inscrivant dans le projet CASDAR 2016-2019. Les objectifs de ce projet sont de proposer des méthodes innovantes d'identification des souches de *Bacillus thuringiensis*, de comprendre les risques qu'on encoure en utilisant le Bt, et un suivi de la fourche à la fourchette. Parmi les 5 grandes actions de ce projet, notre travail s'inscrit dans le début de ce dernier, avec le recensement des pratiques agricoles. Ainsi, après avoir élaboré un questionnaire et contacté près de 200 agriculteurs, nous avons réalisé un état des lieux de l'utilisation du Bt par les agriculteurs bios en Bretagne.

Suite à notre enquête, nous pensons que l'information principale qui en ressort est que les agriculteurs semblent être mal informés concernant les utilisations du Bt. En effet, nous avons pu remarquer que parmi ces derniers, certains l'utilisent de manière préventive. Or, cette pratique est impossible avec les produits à base de Bt. De plus, peu de personnes semblent avoir des informations concernant le délai avant récolte. Nous avons donc supposé que cette tendance serait due à un manque d'information sur les modalités d'utilisation. Toujours concernant son utilisation, nous avons relevé comme information que la majorité des agriculteurs interrogés semblent utiliser le Bt car ils n'ont pas d'autre choix. En effet, pour protéger les crucifères lors d'importantes attaques, il n'existe aucune alternative au Bt. On pourrait donc penser que les agriculteurs « dépendent » de lui. Néanmoins, près de 30% de ces derniers nous disent pouvoir se passer du Bt si ce dernier venait à être interdit. Cette dernière observation reste cependant peu fiable étant donné la taille de notre échantillon. Ensuite, à propos des problèmes de confusion avec le *B. cereus*, parmi les agriculteurs interrogés, personne ne semble avoir eu de problème de déclassement à cause de ce dernier. Les seuls cas de déclassement relevés sont dus à des attaques de ravageurs.

En plus de l'inventaire concernant les pratiques des agriculteurs bios, nous avons recherché des corrélations entre les différents facteurs de l'étude. D'après les tests de Khi2 réalisés (au risque 5%), il semblerait qu'il n'y ait aucune affinité entre les différentes informations recensées. En revanche, il paraîtrait qu'il y ait un lien entre la fréquence d'utilisation du Bt et la date d'installation des agriculteurs. Encore une fois, au vu de la taille des échantillons, ces résultats ne sont pas forcément représentatifs de la population agricole bretonne.

Pour la continuité du projet BtID, le recensement des pratiques agricoles s'étendra aux autres régions de France. De plus, une fiche synthèse de nos résultats sera élaborée par la suite et envoyée aux agriculteurs qui en ont fait la demande. Ainsi le projet BtID sera poursuivi jusqu'à fin 2018.

Bibliographie

- ANSES, 2011. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments - *Bacillus cereus*.
- Aronson, A.I., Shai, Y., 2001. Why *Bacillus thuringiensis* insecticidal toxins are so effective: unique features of their mode of action. *FEMS Microbiol. Lett.* 195, 1–8.
- Biopesticides - ephytia, 2014.
- Bravo, A., Gill, S.S., Soberon, M., 2007. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon* 49, 193–199.
- De Maagd, R.A., Bravo, A., Crickmore, N., 2001. How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *TRENDS Genet.* 17, 193–199.
- Desfemmes, C., 2012. *Bacillus thuringiensis* : un allié au jardin bio [WWW Document]. Gerbeaud. URL <http://www.gerbeaud.com/jardin/decouverte/bacillus-thuringiensis.php> (accessed 3.20.17).
- E-phy ANSES, 2017. Résultat de recherche : substance active *Bacillus thuringiensis*.
- Ferrera, S., 2014. Liste des produits phytosanitaires autorisés en Agriculture Biologique sur cultures maraîchères et fraise.
- Lacoursière, J., 2017. Le *Bacillus thuringiensis israelensis* et le contrôle des insectes piqueurs au Québec.
- Mortureux, M., 2013. Avis de l'ANSES, Saisine.
- Oppert, B., KRAMER, K.J., Johnson, D.E., Macintosh, S.C., Mcgaughey, W.H., 1994. Altered Protoxin Activation by Midgut Enzymes from a *Bacillus thuringiensis* Resistant Strain of *Plodia interpunctella*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 198, 940–947.
- SAGe, 2017. SAGe pesticides Utilisation rationnelle des produits et traitements phytosanitaires contre ravageurs [WWW Document]. SAGE Pestic. URL <http://www.sagepesticides.qc.ca/> (accessed 3.20.17).
- Sanchis, V., 2016. La lutte biologique avec *Bacillus thuringiensis*. *Jard. Fr.*
- Sanchis, V., Chaufaux, J., Lrereclus, D., 1996. Amélioration biotechnologique de *Bacillus thuringiensis* : les enjeux et les risques. *Ann. Inst. Pasteur Actual.* 7, 271–284.

Abréviations

DAR	Délai d'emploi Avant Récolte
DGCCRF	Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes
EPA	Agence de Protection Environnemental
IFOAM	International Federation of Organic Agriculture Movements
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
SAGE	Santé Agricole Gestion Environnement

Lexique

Aérobic	se dit de micro-organisme se multipliant en présence d'O ₂ .
Anaérobic	se dit de micro-organisme se multipliant en absence d'O ₂ .
Antagoniste	dont les actions s'opposent.
Arbovirus	type de virus ayant pour vecteur les arthropodes suceur de sang (ex: moustique).
Bacilles	bactérie de forme allongée dite « en bâtonnet ».
Cellules épithéliales	cellules qui forment l'épithélium.
Cristaux protéiques	protéines toxiques en forme de losange sécrétée par le Bt.
Entomopathogène	qualifie des bactéries ou substances luttant contre des insectes
Lyse	destruction d'un élément organique.
Protoxine	toxine protéique.
SAGE	Outil d'information sur les risques pour la santé et l'environnement ainsi que sur les usages agricoles pour une gestion rationnelle et sécuritaire des pesticides au Québec.
Sporulation	action de formation et de libération de spores.
Sporulé	se dit de bactéries capables de former des spores.
Taxonomique	relatif à la taxonomie, science de la classification des êtres vivants.
Toxi-Infections Alimentaires Collectives (TIAC)	correspond à l'apparition d'au moins deux cas similaires d'une symptomatologie, dont on peut rapporter la cause à une même origine alimentaire.
Ubiquiste	se dit d'un organisme susceptible d'être observées dans des milieux écologiques très différents.

Annexe I

Enquête sur les utilisations de *Bacillus thuringiensis*

Etudiantes en licence pro protection des cultures et développement durable à Quimper, on réalise un projet en partenariat avec Initiative Bio Bretagne. On cherche à comprendre comment les agriculteurs utilisent les produits phytosanitaires à base de BT.

<p>1. Nom, prénom</p> <p>.....</p> <p>2. Adresse email</p> <p>.....</p> <p>3. Téléphone</p> <p>.....</p> <p>4. Nom de l'exploitation</p> <p>.....</p> <p>5. Vous êtes sous quel statut ?</p> <p><input type="checkbox"/> EARL</p> <p><input type="checkbox"/> SCEA</p> <p><input type="checkbox"/> GFA</p> <p><input type="checkbox"/> SARL</p> <p><input type="checkbox"/> Exploitation individuelle</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>	<p>6. Code postal</p> <p>.....</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Bacillus thuringiensis</p> <hr/> <p>7. Est-ce que vous utilisez des produits à base de BT pour lutter contre certains ravageurs de vos cultures ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui</p> <p><input type="checkbox"/> Non</p> <p>8. Depuis combien de temps ?</p> <p>.....</p>
---	---

Produits	Ravageurs	Cultures	Fréquence	Délai avant récolte	Préventif P ou curatif C

9. Qu'est-ce qui vous a amené à utiliser des produits à base de BT ?

- Le coût
- L'efficacité
- Le côté pratique
- Autre :

10. Au moment où vous avez décidé d'utiliser le BT, aviez-vous pensé à d'autres méthodes de protection ?

- Oui
- Non

11. Si oui, lesquelles ?

.....

12. En moyenne, combien vous coûte le BT par application ou par litre ?

.....

13. Comment évaluez-vous les résultats obtenus ?

Excellents	Bons	Satisfaisants	Moyens	Insuffisants

14. A quoi attribuez-vous ces faibles résultats ?

.....

15. Si le BT venait à être interdit, comment envisagez-vous votre lutte contre les ravageurs ?

.....

Votre exploitation

Quelques questions complémentaires pour situer votre utilisation du BT par rapport à votre exploitation en général.

16. Depuis quand êtes-vous en bio ?

.....

17. En 2 mots, qu'est-ce qui a motivé votre conversion en bio ? (santé, précaution, écologie, équité...)

.....

18. Avez-vous des parcelles en cours de conversion ?

- Oui
- Non

19. Combien d'ha cultivez-vous ? (demander de préciser pour les parcelles en conversion si « oui » au-dessus)

.....

20. Par quel organisme êtes-vous certifié ?

- Ecocert
- Certipaq
- Bureau Veritas
- Agrocet
- Autre :

21. Avez-vous d'autres cultures ou zones de biodiversité que celles que vous m'avez citées précédemment ?

.....

22. Quels sont les principaux ravageurs que vous rencontrez dessus ?

.....
.....
.....

23. Comment est-ce que vous luttez contre eux ?

.....
.....
.....

24. Est-ce que vous utilisez des outils d'aide à la décision ou des systèmes d'alertes pour décider quand traiter ?

.....

25. En ce qui concerne la protection des cultures, est-ce que vous avez des projets pour l'avenir de votre exploitation ?

.....
.....
.....

26. Est-ce que vous avez eu des productions invendables à cause des ravageurs ?

- Oui
- Non

27. Si oui, lesquelles ?

.....
.....
.....

28. A cause de...

- Chenilles
- BT
- Autre :

29. D'ailleurs, vous vendez vos produits...

- Frais
- Transformés
- Les deux

30. Par quel circuit de distribution les vendez-vous ?

- Vente directe
- AMAP
- Coopérative
- Grossiste
- Autre :

31. Avez-vous des salariés ?

- Oui
- Non

32. Si oui, combien de temps pleins ?

.....

33. Combien de saisonniers ?

.....

Votre profil

34. Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ?

- Moins de 30 ans
- Entre 30 et 40 ans
- Entre 40 et 50 ans
- Plus de 50 ans

35. Votre formation...

- Ingénieur
- BTSA
- BPA
- BEPA
- Autre :

36. Rapidement, quel est votre parcours professionnel ? (année d'installation)

.....
.....
.....

37. Est-ce que vous exercez d'autres activités en dehors de votre exploitation ?

- Oui
- Non

Connaissez-vous d'autres agriculteurs utilisant le BT que nous pourrions contacter ?

.....
.....
.....
.....
.....

Merci d'avoir pris le temps de répondre à nos questions, les résultats de cette étude seront consultables sur le site : ITAB.asso.fr.

Annexe II

Individu	Département	Début utilisation du Bt	Noms commerciaux	Ravageurs ciblés par le Bt	Cultures	Fréquence d'application (par saison)	Préventive ou curative	Pourquoi utiliser le Bt	Échelle de satisfaction
1	29	Moins de 5 ans	-	Chenilles	Choux, Brocoli	1	Curative	Seule solution en bio	Bons
2	29	-	-	Chenilles	Chou-fleur	-	Curative	Seule solution en bio	Satisfaisants
3	29	Entre 5 et 10 ans	Dipel	Chenilles	Brocoli	2 - 3	Curative	Seule solution en bio	Satisfaisants
4	29	Moins de 5 ans	-	Chenilles	Choux, Brocoli	1	Curative	Seule solution en bio	Bons
5	29	Moins de 5 ans	Dipel	Chenilles	Brocoli	1	Curative	Seule solution en bio	Bons
6	29	Moins de 5 ans	Xantari	Chenilles	Choux	-	Curative	Seule solution en bio	Bons
7	29	Entre 5 et 10 ans	Dipel, Scutelo	Chenilles	Chou-fleur, Brocoli	1	Curative	Le coût, L'efficacité	Bons
8	29	Entre 5 et 10 ans	-	Chenilles	Choux	1	Curative	L'efficacité	Bons
9	22	Moins de 5 ans	-	Chenilles	Chou-fleur	1	Préventive	Seule solution en bio	Moyens
10	56	Entre 5 et 10 ans	Bacturin	Chenilles	Choux	2 - 3	Curative	L'efficacité	Bons
11	29	Entre 5 et 10 ans	Scutelo, Dipel	Chenilles	Chou-fleur, Choux	-	Curative	Le coût, L'efficacité	Bons
12	29	Entre 11 et 15 ans	Xantari	Chenilles	Choux, tomate, concombre	2 - 3	Curative	Seule solution en bio	Bons
13	29	Moins de 5 ans	Scutelo	Chenilles	Choux, Brocoli	2 - 3	Curative	L'efficacité	Bons
14	29	Plus de 15 ans	Xentari	mouche du chou-fleur	Chou-fleur	1	Curative	L'efficacité	Bons
15	29	Entre 5 et 10 ans		Chenilles	Brocoli	1	Curative	Seule solution en bio	Satisfaisants
16	29	Moins de 5 ans	Dipel Df	Chenilles	Choux	2 - 3	Curative, Préventive	Beaucoup de dégâts	Bons
17	29	Plus de 15 ans	Bactospéine (avant)	Chenilles	Choux	2 - 3	Curative	Seule solution en bio	Bons
18	35	Plus de 15 ans	Dipel	Chenilles	Choux	1	Curative	Seule solution en bio	Bons
19	22	Entre 5 et 10 ans	-	Chenilles	Choux	2 - 3	Curative	L'efficacité, Seule solution en bio	Bons
20	56	Entre 5 et 10 ans	Dipel	Chenilles, doryphores	Choux, PDT	1	Curative	Seule solution en bio	Moyens
21	29	Moins de 5 ans	DIPEL	Chenilles	Chou-fleur, Choux	1	Préventive	Le côté pratique	Satisfaisants
22	29	Entre 5 et 10 ans	-	Chenilles	Choux	>3	Curative	Seule solution en bio	Excellents
23	22	Entre 5 et 10 ans	-	Chenilles	Brocoli	2 - 3	Curative	Seule solution en bio	Bons
24	22	Plus de 15 ans	Bacturin	Chenilles	Brocoli	1	Curative	Seule solution en bio	Bons

25	22	Entre 5 et 10 ans	-	Chenilles	Brocoli	2 - 3	Curative	Seule solution en bio	Bons
26	22	Entre 5 et 10 ans	Xentari	Chenilles	Choux	>3	Curative	Seule solution en bio	Bons
27	35	Entre 5 et 10 ans	Dipel	Chenilles	Choux	1	Curative	L'efficacité	Bons
28	22	-	Dipel	Chenilles	Choux	1	Curative	L'efficacité	Satisfaisants
29	29	Plus de 15 ans	Xentari, Dipel Df	Chenilles	Chou-fleur, Brocoli	2 - 3	Curative	Seule solution en bio	Bons
30	35	Moins de 5 ans	-	mouche du poireau	poireau	1	Curative	Seule solution en bio	Excellents
31	35	Entre 5 et 10 ans	Solabiol (en jardinerie)	Chenilles	Choux	1	Curative	L'efficacité	Excellents
32	35	Entre 5 et 10 ans	Delfin	Chenilles, teigne	Choux, poireau	>3	Curative, Préventive	Le côté pratique	Bons
33	22	Entre 5 et 10 ans	Dipel, Batura, Xentari	Chenilles	Chou-fleur, Brocoli	-	Curative	Seule solution en bio	Satisfaisants

Individu	Dépendance au Bt	Date installation en bio	Taille exploitation (ha)	Autre cultures	Principaux ravageurs de l'exploitation	Moyen de lutte	Productions invendables	Sur quelles cultures ?	A cause de ?	Commercialisation
1	Oui	2010-2014	Plus de 26	Légumes	chenilles, limaces, pucerons	BT	Non	-	-	Frais
2	-	1986-1991	Plus de 26	Légumes	-	bouillie bordelaise	Oui	chou-fleur	Chenilles, limaces	Frais
3	Oui	2010-2014	Plus de 26	Légumes, Céréales	chenilles	BT	Oui	crucifères	Chenilles	Les deux
4	Oui	2010-2014	Entre 7 et 25,5	Légumes	chenilles, limaces pucerons		Non	-	-	Frais
5	Oui	2010-2014	Entre 7 et 25,5	Légumes	mildiou	-		-	-	Frais
6	Oui	2010-2014	Entre 1 et 6	Légumes	chenilles, mouches	-	Oui	-	Chenilles	Frais
7	Oui	2010-2014	Plus de 26	Légumes	chenille, teigne, thrips	-	Oui	chou-fleur	Chenilles	Frais
8	Oui	2004-2009	Plus de 26	Légumes, Prairies, Céréales	chenilles	BT	Non	-	-	Frais
9	Non	1998-2003	Entre 7 et 25,5	Légumes	-	-	Non	-	-	Frais
10	Non	1992-1997	Plus de 26	Légumes	taupins, oiseaux, pucerons	PBI	Oui	PDT	taupins	Les deux
11	Oui	1986-1991	Plus de 26	Légumes	pucerons, mildiou	-	Oui	artichaut	Chenilles, pucerons	Frais
12	Oui	1992-1997	Entre 7 et 25,5	Légumes, Prairies, Céréales	chenilles, pucerons	PBI	Non	-	-	Frais

13	Oui	1998-2003	Entre 1 et 6	Légumes	mildiou, lapins, pigeons	-	Oui	courgettes, fenouil, choux, tomates	Chenilles, botrytis, mildiou, cladosporiose	Frais
14	Oui	1986-1991	Plus de 26	Légumes	mouche du chou fleur	BT	Oui	chou-fleur	mouche du chou fleur	Frais
15	Oui	1986-1991	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Oui	1992-1997	Plus de 26	Légumes, Prairies	chenilles, cécidomyies	PBI	Non	-	-	Frais
17	Oui	1992-1997	Entre 1 et 6	Légumes	pucerons, limaces, chenilles	-	Non	-	-	Frais
18	Oui	1998-2003	Entre 7 et 25,5	Légumes	puceron noir	PBI	Non	-	-	Frais
19	Oui	1998-2003	Entre 1 et 6	Légumes, Céréales	doryphore, vers, taupin	PBI	Oui	PDT, panais, radis noir, carotte	tapin, doryphore, vers	Frais
20	Oui	2010-2014	Entre 7 et 25,5	Légumes, Céréales		-	Oui	choux, blette	Chenilles	Frais
21	Non	1992-1997	Plus de 26	Légumes, Prairies, Céréales	pucerons mais peu de dégâts	PBI	Non	-	-	Frais
22	Non	2004-2009	Entre 7 et 25,5	Légumes, Céréales		-	Non	-	-	-
23	-	1998-2003	Plus de 26	Légumes, Céréales	mouches	PBI	Non	-	-	Les deux
24	Non	1992-1997	Plus de 26	Légumes, Céréales	corbeaux, taupins	PBI	Oui	-	taupin	Les deux
25	Oui	2004-2009	Plus de 26	Légumes	mouche	-	Non	-	-	Frais
26	Oui	2004-2009	Entre 7 et 25,5	Légumes, Prairies	mouche de la carotte	PBI	Oui	carottes	mouches	Frais
27	Non	2004-2009	Entre 1 et 6	Légumes	-	PBI	Non	-	-	Les deux
28	Non	2010-2014	Entre 1 et 6	Légumes	-	-		-	-	Frais
29	Oui	1998-2003	Entre 7 et 25,5	Légumes	champignons	PBI	Non	-	-	Les deux
30	Oui	1998-2003	Entre 1 et 6	Légumes, Prairies	-	-	Non	-	-	Frais
31	Non	2004-2009	Entre 1 et 6	Légumes	pucerons	PBI		-	-	Frais
32	Oui	2004-2009	Entre 7 et 25,5	Légumes, Prairies	Doryphores, rongeurs, pucerons	PBI, BT	Oui	choux, carottes	Chenilles, rongeurs	Frais
33	Non	2004-2009	Plus de 26	Légumes	pucerons	-	Oui	-	puceron	Les deux

Individu	Circuit de distribution	Nombre de salariés	Nombre de saisonniers	Tranche d'âge	Formation
1	Coopérative	-	-	-	-
2	groupement de producteurs	3	6	Plus de 50 ans	-
3	Grossiste	4	3	Plus de 50 ans	Bac ou moins
4	Coopérative	1	-	Moins de 30 ans	Bac ou moins
5	Grossiste	-	-	-	-
6	Coopérative	-	-	Entre 31 et 40 ans	Bac+2
7	Coopérative	3	-	Moins de 30 ans	Bac+2
8	Coopérative	-	4	Entre 41 et 50 ans	Bac+2
9	Vente directe, Grossiste	-	-	Plus de 50 ans	-
10	Grossiste	-	-	Plus de 50 ans	Reconversion
11	Grossiste	4	6	-	Bac+2
12	Grossiste	3	2	Plus de 50 ans	Bac+2
13	Vente directe, Grossiste	2	-	Entre 31 et 40 ans	Bac+5 ou +
14	Coopérative	-	2	Entre 41 et 50 ans	Bac+2
15	-	-	-	-	-
16	Coopérative	1	1	Entre 41 et 50 ans	Bac ou moins
17	marché	1	1	Entre 41 et 50 ans	Bac+2
18	Vente directe	2	-	Entre 41 et 50 ans	Reconversion
19	Vente directe, Grossiste	-	-	Entre 41 et 50 ans	Bac+5 ou +
20	Coopérative, marché	-	2	Entre 41 et 50 ans	Reconversion
21	Coopérative	-	-	Entre 31 et 40 ans	Bac+2
22	-	-	-	Plus de 50 ans	Bac+2
23	Vente directe	6	4	Plus de 50 ans	Bac ou moins
24	Coopérative	1	-	Plus de 50 ans	Bac ou moins
25	Vente directe	10	10	Plus de 50 ans	Bac ou moins
26	Vente directe	3	1	Entre 31 et 40 ans	Bac+2
27	Vente directe	1	2	Entre 41 et 50 ans	Bac ou moins
28	Vente directe, Coopérative	-	-	Entre 41 et 50 ans	Bac ou moins
29	Coopérative	1	5	Plus de 50 ans	Bac ou moins
30	Vente directe	-	1	Entre 41 et 50 ans	Bac+2
31	Vente directe, Coopérative, Grossiste, magasin spécialisé	2	2	Entre 41 et 50 ans	Bac+2
32	Vente directe, Coopérative, restauration	1	2	Entre 41 et 50 ans	Reconversion
33	Coopérative	2	2	-	Bac+2

Résumé

Pour ce projet tuteuré, il nous a été demandé d'effectuer un recensement des modes d'utilisation du *Bacillus thuringiensis* (Bt) par les agriculteurs bios bretons. Cette étude se déroule dans le cadre du projet BtID.

Après avoir interrogé près de 200 agriculteurs, voici les informations qui ressortent de notre enquête : la moitié des agriculteurs interrogés utilisent des insecticides à base de Bt. 88% des agriculteurs traitent leurs crucifères à l'aide de ces produits, principalement pour lutter contre des chenilles. L'idée principale qui ressort des réponses des maraichers est qu'ils ne semblent pas connaître les recommandations d'utilisation des produits. En effet, presque personne ne connaissait les indications de délais avant récolte et certains exploitants appliquent le Bt de manière préventive, ce qui le rend inefficace. Enfin, plus de 60% des agriculteurs utilisent ce produit car il n'existe aucun produit similaire autorisé en bio.

Abstract

For this project, we were asked to make an inventory of how Breton organic farmers use the bacteria *Bacillus thuringiensis*. This study is part of the BtID project.

After questioning almost 200 people, these are the conclusions we could draw using these data: half the market gardeners we asked are using Bt-based insecticides. 88% of them treat their crucifer plants, especially against caterpillars. The main information that stands out is that farmers seem unaware of the recommendations for these products. Indeed, hardly anyone knows the pre-harvest interval of Bt-based products and some people use it as a preventive treatment. But the bacteria is inactive when used this way. Finally, more than 60% of farmers use *Bacillus thuringiensis* because there is nothing else authorized for organic agriculture.