



HAL
open science

Adaptation d'un modèle de prévision des risques de sclérotiniose à la culture du haricot

Camille Hascoët

► **To cite this version:**

Camille Hascoët. Adaptation d'un modèle de prévision des risques de sclérotiniose à la culture du haricot. Sciences agricoles. 2012. dumas-00741849

HAL Id: dumas-00741849

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00741849>

Submitted on 15 Oct 2012

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

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



AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers
2, rue Le Nôtre
49 000 Angers

UNILET

6, rue Jean Marie Le Gall
29 393 Quimperlé

Mémoire de Fin d'Etudes

**Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences
Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage**

Année universitaire : 2011 - 2012

Spécialisation ou option : Gestion Durable du Végétal

**Adaptation d'un modèle de prévision des risques de sclérotiniose à la culture
du haricot**

Par : Camille HASCOËT

Volet à renseigner par l'enseignant responsable de l'option/spécialisation*
définitive)

Bon pour dépôt (version

Ou son représentant

Date ; .../.../... Signature :

Autorisation de diffusion : Oui Non

Devant le jury :

Soutenu à Angers le 01/10/2012

Sous la présidence de : MICHEL Jean-Charles

Maître de stage : LE DELLIOU Bernard

Enseignant référent : TRICAULT Yann

Autres membres du jury : LE MAY Christophe

DIDELOT Frédérique

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

Fiche de diffusion du mémoire

A remplir par l'auteur⁽¹⁾ avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

Préciser les limites de la confidentialité⁽²⁾ :

➤ Confidentialité absolue : oui non
(ni consultation, ni prêt)

↳ Si oui 1 an 5 ans 10 ans

➤ A l'issue de la période de confidentialité **ou** si le mémoire n'est pas confidentiel, merci de renseigner les éléments suivants :

Référence bibliographique diffusable⁽³⁾ : oui non

Résumé diffusable : oui non

Mémoire consultable sur place : oui non

Reproduction autorisée du mémoire : oui non

Prêt autorisé du mémoire : oui non

.....
Diffusion de la version numérique : oui non

↳ Si oui, l'auteur⁽¹⁾ complète l'autorisation suivante :

Je soussigné(e) _____, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.

Date :

Signature :

Angers, le

Le maître de stage⁽⁴⁾,

L'auteur⁽¹⁾,

L'enseignant référent,

(1) auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(2) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(3) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé.

(4) Signature et cachet de l'organisme.

Remerciements

Je remercie M^f Le Delliou et M^f Le Floch pour m'avoir proposé ce sujet et répondu à mes nombreuses questions.

Je remercie également :

- toute l'équipe UNILET qui a contribué au bon déroulement de ce stage, ces 7 mois dans l'entreprise sont passés très vite
- Messieurs Varrailon et Ricateau de SYNGENTA AGRO pour leur aide et leur accueil
- Clément, apprenti à l'UNILET, qui m'aura beaucoup aidé dans le suivi des parcelles lorsque le planning des semaines était plus que chargé
- Louis, stagiaire à la Coopérative St Yvi qui a mis en place les zones non traitées dans les vingt parcelles et qui m'a accompagné dans quelques tournées.

Table des matières

Introduction	1
I – Bibliographie.....	3
A – Présentation de l’agent pathogène et des facteurs influençant son développement	3
B – Epidémiologie et symptômes sur haricot	5
C – Contrôle de la maladie	7
D – Les modèles d’avertissement de la maladie.....	9
II - Matériels et méthodes.....	11
A - Données climatiques.....	11
B - Le modèle	12
C – Mise en place d’un réseau de parcelles:.....	13
D-Suivi des contaminations au champ	16
E –Analyses statistiques	18
III - Résultats	18
A – Caractéristiques parcellaires et conditions météorologiques	18
B- Suivi des contaminations au champ :	22
IV – Discussion	29
A – Bilan de l’année 2012	29
B – Contaminations réelles et contaminations théoriques.....	30
C – Fiabilité des kits pétales	30
D – Fiabilité du modèle	31
V – Conclusion.....	34
Bibliographie.....	36
Sitographie	38

Liste des annexes

Annexe I : Bilan sclérotiniose 2009 sur haricots et flageolets, enquête nationale réalisée par l'UNILET auprès des organisations de producteurs et des usines.....	i
Annexe II : Symptômes de <i>S. sclerotiorum</i> sur un plant classé B et sur un plant classé C..	ii
Annexe III : Symptômes de <i>S. sclerotiorum</i> sur un plant classé D.....	iii
Annexe IV : Zone non traitée ravagée par le sclérotinia.....	iv
Annexe V : Questionnaire à destination des agriculteurs.....	v
Annexe VI : Itinéraire technique de la culture du haricot et du flageolet.....	vi

Adaptation d'un modèle de prévision des risques de sclérotiniose à la culture du haricot

Introduction

La France est le deuxième producteur mondial de haricots verts derrière les Etats-Unis (FAO Stat, 2010) avec 314 380 T produites en 2011 pour 24 400 ha semés (parmi les verts, 67 % en variétés extra-fins et très fins et 28 % en autres calibres et 5 % en variétés beurre). Les rendements moyens sont de 11,6 T/ha pour les verts extra-fins et très fins, 14,0 T/ha pour les autres verts et 12,5 T/ha pour les beurres. Le haricot est le premier légume consommé en conserve (environ 25 % des volumes) et surgelé (environ 18 % des volumes). Les surfaces semées en flageolet représentent 4 230 ha pour 26 315 T produites. L'emblavement 2011 connaît une baisse de 1 300 ha par rapport à l'emblavement moyen entre 2006 et 2010. Les flageolets sont consommés essentiellement en conserve et représentent environ 6,4 % des volumes (UNILET, 2011).

Sclerotinia sclerotiorum est une menace économique majeure, les pertes liées à la maladie ont été estimées à 4,8 millions d'euros sur haricot et flageolet en 2009 où la pression du pathogène était forte (Annexe I). Ces pertes sont liées à des abandons de parcelles, des récoltes anticipées, au surcoût fongicide pour le producteur et le surcoût de tri à l'usine. Le champignon sévit principalement dans les zones de production majeures à climat tempéré et humide que sont la Bretagne, la Beauce et la Picardie. La maladie touche 400 plantes hôtes dont les cultures oléo-protéagineuses comme le pois, le tournesol, et le colza, la majorité des cultures maraichères (laitue, carotte...) et quelques plantes fourragères comme la luzerne et le trèfle.

Au cours des dix dernières années, la pression exercée par la maladie n'a cessé de croître. La quantité d'inoculum présent dans le sol a augmenté avec les zones de production spécialisées dans les cultures légumières. Dans ces zones, l'intervalle de temps entre 2 cultures sensibles est réduit, la mise en place de doubles cultures (pois/haricot, carotte/haricot, haricot/haricot) fréquente, l'irrigation quasi-systématique. Le retrait en 2007 de RONILAN DF[®] (matière active : vinchlozine 500 g/L) qui permettait un bon contrôle de la maladie a aussi contribué à cette augmentation de la pression.

Il n'existe pas de variétés résistantes à *Sclerotinia sclerotiorum* chez le haricot (*P. vulgaris*), la lutte contre ce pathogène se fait à l'aide de mesures prophylactiques, de la lutte chimique et de la lutte biologique.

Le contrôle de *S. sclerotiorum* se fait essentiellement à l'aide de fongicides, mais ceux-ci sont devenus moins efficaces à cause d'une plus grande pression de la maladie, de l'apparition de résistances en laboratoire, et des problèmes de dégradation microbienne rapide des fongicides présents dans le sol. Les fongicides sont utilisés en préventif, ils diminuent la dispersion du pathogène à de nouveaux tissus et surtout à de nouveaux foyers.

En 2012, 4 fongicides peuvent être appliqués pour lutter contre le *Sclerotinia* : SWITCH (cyprodinil 37,5 % et fludioxonil 25 %), PICTOR PRO (boscalid 50 %), TOPSIN 500 SC (thiophanate-méthyl 500 g/L) et ROVRAL AF (Iprodione 500 g/kg) ou WG (Iprodione 750 g/kg). Ces 4 fongicides appartiennent à 4 familles chimiques différentes

(benzimidazoles pour le Topsin, carboxamides pour PICTOR et ROVRAL, anilinopyrimidines et phénylpyrroles pour le Switch).

Le moment ainsi que la manière choisis pour appliquer le fongicide ont une grande importance sur la réduction de l'incidence de maladie. La date d'intervention doit être judicieusement positionnée par rapport aux lâchers d'ascospores, c'est dans ce but qu'il serait intéressant de créer un outil d'aide à la décision permettant de garantir l'efficacité et la durabilité des traitements. L'optimisation de la lutte chimique est d'autant plus importante que le surcoût lié aux traitements fongicides représente la plus grande partie des pertes économiques liées au *Sclerotinia*. Ces pertes sont estimées à environ 2,8 millions d'euros, soit plus de 50 % des dommages financiers dus au champignon.

Sur colza, un modèle a été mis en place par le CETIOM en collaboration avec SYNGENTA AGRO afin de prédire les périodes de risque. La culture du colza, tout comme celle du haricot, est sensible pendant la période de floraison. Les ascospores vont germer sur les fleurs. Le modèle RAISO-Scléro permet de raisonner l'application fongicide en reproduisant les taux de fleurs contaminées tout au long de la floraison avec 5 jours de projections climatiques. Penaud (2006) a établi un seuil de pourcentage de fleurs infectées supérieur ou égal à 30% pour déclencher un traitement fongicide sur colza.

L'objectif final est d'adapter ce modèle au haricot. Il viendrait compléter la grille Hasclerix (UNILET, BASF AGRO) qui permet d'évaluer le risque sclérotinia de la parcelle avant semis. Cette grille prend en compte le type de rotation en intégrant les CIPAN (Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates), la présence de dégâts dans les cultures précédentes et l'année de la dernière attaque recensée, l'irrigation, la période de semis... Dans la littérature, il n'est pas mentionné de modèle épidémiologique fonctionnel prédisant les risques de sclérotiniose sur haricot.

L'objectif pour 2012 est de valider la courbe simulant le pourcentage de fleurs contaminées. Les hypothèses prises en compte par le modèle sont une simplification du type de sol en 'sable', 'argile' ou 'limon', une quantité importante et constante d'inoculum dans le sol. Cette quantité est identique quelle que soit la parcelle. Aussi, le modèle considère uniquement les infections via les ascospores. Il ne prend pas en compte tous les facteurs ayant un impact sur le microclimat de la parcelle (inter-rang, pourcentage de recouvrement...).

Le pourcentage de fleurs contaminées estimé par le modèle est-il représentatif des contaminations observées au champ ? Comment s'expliquent les différences entre contaminations théoriques et contaminations réelles ? Quelles pistes d'amélioration peuvent être suggérées ?

Pour répondre à cet objectif, des 'kits pétales' sont réalisés afin de suivre la contamination réelle au champ sur une centaine de parcelles situées en Bretagne, Loire-Atlantique et Vendée. Une extrapolation du modèle au flageolet est également envisagée. Quelques parcelles semées en flageolet seront donc suivies. Le cycle de culture du flageolet est plus long, 90 jours contre 70 jours environ pour le haricot, et expose plus longtemps la culture à la maladie.

La méthode mise en place pour le suivi sera détaillée après un point bibliographique sur l'agent pathogène, les moyens de lutte et les modèles existants dans la littérature afin de prévenir les risques de sclérotiniose. Ensuite, les résultats obtenus seront présentés et discutés. La même opération est menée sur une centaine de parcelles en Picardie. La finalité du projet est une mise en service de l'outil d'ici 3 à 4 ans.

I – Bibliographie

A – Présentation de l'agent pathogène et des facteurs influençant son développement

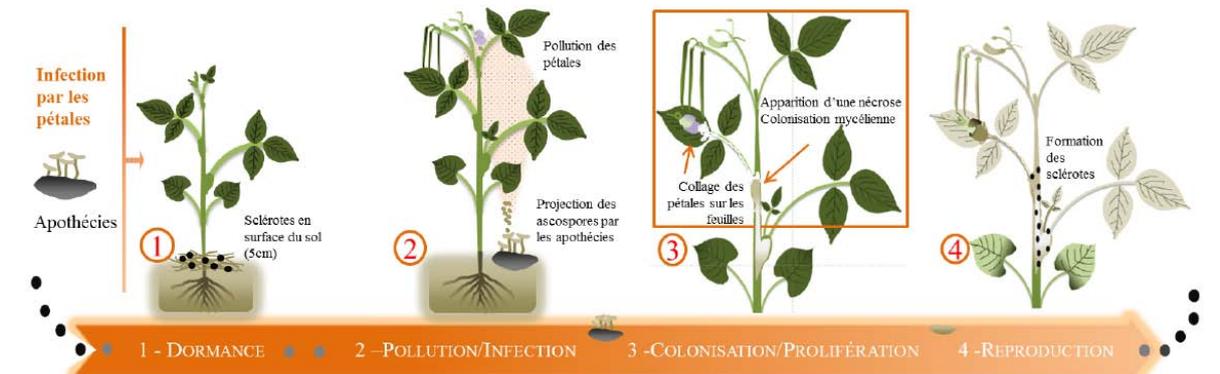


Figure 1 – Cycle de développement de *S. sclerotiorum* via la germination carpogénique. *Source personnelle.*

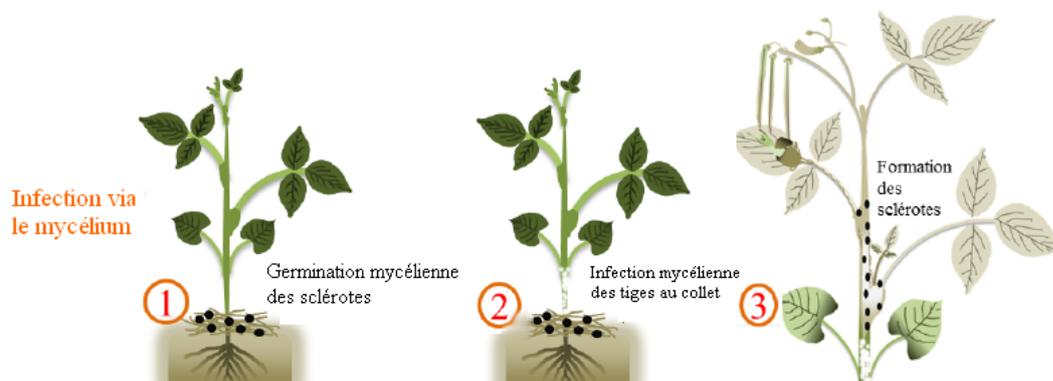


Figure 2 – Cycle de développement de *S. sclerotiorum* via la germination mycélienne. *Source personnelle.*

S. sclerotiorum appartient à la classe des Ascomycètes qui regroupe les champignons à mycélium cloisonné dont la reproduction aboutit à la production d'asques. Ces asques sont élaborés dans un appareil fructifère en forme de disque appelé apothécies (ordre des Héliotiales). Ces apothécies abritent des asques s'ouvrant sur un pore inoperculé (famille des Sclerotiniacées). Le genre *Sclerotinia* comprend 3 espèces principales, *S. sclerotiorum*, *S. minor* et *S. trifoliorum* (Kohn *et al.*, 1979).

Le cycle de vie de *S. sclerotiorum* comprend 3 stades de développement qui incluent une phase de dormance, une phase saprophyte (germination mycélienne et carpogénique), et une phase de parasitisme.

L'organe de conservation est le sclérote. Les sclérotés se forment à partir d'amas d'hyphes et évoluent vers une masse noire et dure contenant de la mélanine. Cette structure le protège des agressions extérieures. Les sclérotés ont une forme plus ou moins régulière, et mesurent de 2 à 15 mm environ. Ils se forment quand la source nutritive devient limitante. Cet organe de conservation est riche en β -glucanes, sucres, protéines et acides gras. En moyenne, la durée de survie dans le sol est de 3 à 5 ans. Cependant, un sclérote peut se conserver dans le sol pendant 10 ans (Saharan *et al.*, 2008).

Le sclérote est capable d'accroître sa survie en produisant des sclérotés secondaires dans le sol en absence d'hôtes sensibles. Le champignon se conserve également sous forme de mycélium libre présent sur les débris de végétaux laissés sur la parcelle (Saharan *et al.*, 2008).

Selon les conditions environnementales, les sclérotés peuvent soit germer de façon mycélienne (asexuée), soit de façon carpogénique (sexuée) qui représente la forme la plus infectieuse. Les sclérotés ne germent pas dans un sol sec et lorsque la température du sol est supérieure à 25°C. Les sclérotés enterrés au-delà de 5 cm de profondeur sont moins susceptibles de germer.

La germination carpogénique du sclérote a lieu après levée de dormance (lorsque le potentiel hydrique du sol est supérieur à -0,25 bar et la température de 4 à 16°C pendant 4 à 8 semaines) pour les sclérotés enfouis dans les 3 premiers centimètres du sol (Saharan *et al.*, 2008).

La formation des apothécies a lieu selon l'humidité du sol et sa nature. Des conditions fraîches et humides favorisent la germination des sclérotés et la production d'apothécies. Le potentiel matriciel du sol doit être compris entre 0 et -7,5 bars et le pH du sol compris entre 6 et 9 (Saharan *et al.*, 2008). Des fluctuations de température de 8°C autour d'une moyenne de 20°C permettent d'obtenir le meilleur taux de germination des sclérotés et de formation d'apothécies (Mila *et al.*, 2008).

Après une période de gonflement, les sclérotés émettent des stipes, filaments mycéliens de 2 à 5 mm de long montant vers le niveau du sol et formant l'apothécie. Les apothécies sont les structures reproductrices portant les ascospores (Dhliwayo, 2008).

La lumière est nécessaire à la formation d'apothécies matures mais pas à la formation des stipes (Wu *et al.*, 2008). Les apothécies produisent des spores à l'air libre et peuvent vivre pendant 20 jours à 15-20°C. La libération des milliers d'ascospores se fait continuellement à 15°C pour une humidité relative de 90 et 95 % et à 65-75 % (Clarkson *et al.*, 2003). Habituellement, les ascospores vont germer sur les fleurs. Une source de nutriments exogènes est nécessaire afin de pouvoir infecter leur hôte. La surface des fleurs matures ou sénescents contient des nutriments essentiels à la germination des ascospores. Ces surfaces doivent être

continuellement humides pendant 2-3 jours pour que les spores puissent germer et produire du mycélium qui envahira les tissus (Maheu, 1999). Sur les fleurs, les spores situées sur les pétales et les étamines germent rapidement (sous 3 à 6 heures et infection sous 24h) dans des conditions optimales de 15-25°C, d'humidité continue des feuilles et de forte humidité au sein de la culture (Maheu, 1999).

Une fois la plante infectée, la progression de la maladie est rapide si la température est située entre 15-20°C et les conditions humides. Les hyphes peuvent alors se développer à partir des tissus sénescents vers les feuilles et tiges saines de la partie basse des plants. Des sclérotés sont ensuite produits à l'intérieur ou à la surface des plants sous 10 à 14 jours (Dhliwayo, 2008).

L'humidité est un facteur vital pour la germination carpogénique. Un léger stress osmotique peut inhiber la formation d'apothécies. Les sclérotés soumis à saturation constante (- 0,001 MPa) germent plus et donnent plus d'apothécies que ceux soumis à des variations de potentiel hydrique allant de -0.03, -0.04 à -0.09, -0.1 MPa par rapport à la saturation (Mila *et al.*, 2008). Les sols à texture légère favorisent la germination et la formation d'apothécies (Mila *et al.*, 2003). La quantité totale des précipitations est moins importante que leur fréquence et leur durée, de même pour les périodes de rosée (Harikrishnan *et al.*, 2006).

Si les conditions sont trop sèches pour la germination carpogénique, les sclérotés peuvent former du mycélium. La germination mycélienne est observée pour des températures de 20-25 °C, 80% d'humidité relative et un pH du sol de 5 (Saharan *et al.*, 2008). Les sclérotés proches des collets (0,5 cm en conditions naturelles) produisent un mycélium végétatif contaminant le pivot ou la racine au collet sur une profondeur de 0 à 3-5 cm. Des organes sensibles en contact avec le sol peuvent être attaqués. Le mycélium peut coloniser les parties sénescents ou mortes de la plante avec lesquelles il est en contact. Parfois même, il peut infecter des plantes saines (Dhliwayo, 2008). Des nouveaux sclérotés se développent dans les tissus infectés. Lorsque la plante meurt, ils restent à la surface du sol et terminent le cycle. La germination mycélienne (hyphes infectieux) joue généralement un rôle mineur dans l'épidémiologie de la maladie sur haricot. Cependant, en Inde, sur les cultures du genre *Brassica*, la germination mycélienne est considérée comme importante (Garg *et al.*, 2010).

La quantité produite de sclérotés et leur dimension peuvent être importantes en fin d'attaque. La production la plus importante de sclérotés a lieu pour des températures de 15°C environ (Saharan *et al.*, 2008). Ils se conservent dans la partie travaillée du sol. Ils constituent un réservoir d'inoculum pour les cultures sensibles (cf. annexe I) subséquentes (Collin, 2011).

B – Epidémiologie et symptômes sur haricot

L'épidémiologie de la pourriture blanche dépend de plusieurs facteurs : la quantité d'inoculum présent dans le sol, le type de sol, l'humidité et la température du sol, les précipitations, la sensibilité des cultivars, la largeur des rangs, la densité de semis, la fumure azotée qui favorise des biomasses fortes...

Pour le haricot, une situation d'humidité persistante au niveau des tiges favorise la propagation de la maladie. L'infection primaire commence par les ascospores qui germent en condition humide avec l'aide des nutriments provenant des pétales tombés au sol ou encore des tissus nécrosés, l'infection peut donc se faire avant floraison.

Un autre mode d'infection primaire est associé aux ascospores situées sur les feuilles en contact avec un sol humide et avec les sclérotés situés à la surface du sol.

L'infection secondaire a lieu par contact des plantes saines avec des plantes touchées par *Sclerotinia*. Puis des sclérotés sont formés dans ou sur les tissus infectés.

Les premiers symptômes sont des taches humides, molles et irrégulières. Lorsque les conditions sont fraîches et humides, ces taches s'élargissent rapidement. Puis les taches se recouvrent de mycélium, le champignon provoque une pourriture sèche blanchâtre à larges cercles concentriques. L'alimentation de la tige est bloquée, la partie haute se dessèche. En fin de cycle, les sclérotés se forment dans les tissus médullaires ou sur les tiges infectées. Les sclérotés tombent au sol au cours de la récolte.



Figure 3 – Plant attaqué par *S. sclerotiorum*. Source personnelle.

En cas de forte attaque, le lot de graines ne sera pas indemnes de particules sclérotiques. Les graines attaquées sont ternes et crayeuses et généralement plus légères que les graines saines. La maladie apparaît d'abord de manière éparpillée, sous forme de feuilles fanées, puis quand les plants sont plus proches, les taches sont observées sur les feuilles, gousses et tiges (Saharan *et al*, 2008).

Les lésions se développent pour des températures comprises entre 4 et 29°C, avec un optimum compris entre 20 et 24°C (Abawi *et al.*, 1979). L'incidence de la maladie au champ peut être soit faible soit toucher 100 % des plants (cf. annexe IV) (Tu, 1997). Les différences d'incidence de la maladie sont liées aux différences de précipitations entre parcelles pour une même zone géographique, à des sols plus ou moins drainants, aux pratiques culturales, et à la densité de sclérotés présents dans la parcelle (Tu, 1997).

On observe une corrélation positive entre la densité de sclérotés dans le sol et la sévérité des symptômes observés. Aussi, plus la concentration en ascospores est élevée plus l'incidence de la maladie sera importante, ce qui confirme le rôle d'inoculum joué par les fleurs de haricot colonisées par *S. sclerotiorum* (Chitrampalam *et al.*, 2010).

C – Contrôle de la maladie

Il n'existe pas de variétés résistantes à *Sclerotinia sclerotiorum*, peu de cultivars ayant une résistance modérée à forte à la pourriture blanche ont été recensés chez le haricot commun. Les mécanismes de résistances de la plante au *Sclerotinia* sont quantitatifs. Privilégier des variétés avec une structure de la plante ouverte et érigée, une canopée moins dense, des gousses situées plus en hauteur, et une maturité précoce contribuent à diminuer les dommages liés à la maladie (Pascual *et al.*, 2010). La lutte contre ce pathogène se fait à l'aide de mesures prophylactiques, de la lutte chimique et de la lutte biologique.

Le contrôle de *S. sclerotiorum* se fait essentiellement à l'aide de fongicides. Ils sont utilisés en préventif et diminuent la dispersion du pathogène à de nouveaux tissus et surtout à de nouveaux foyers. Les fongicides utilisés aujourd'hui empêchent la pénétration du champignon à l'intérieur des tissus. Si le champignon a pu pénétrer dans les tissus, ils sont inefficaces.

Les produits doivent être appliqués avant la chute des premiers pétales, soit au stade boutons jaunes ou blancs (toutes premières fleurs). Le meilleur contrôle de la maladie est obtenu lorsque 70 à 80% des plants ont formé une première fleur. Généralement cela a lieu 4 jours avant la pleine floraison (Abawi *et al.*, 1979). Le délai de 7 à 10 jours entre le premier et le second traitement fongicide doit être respecté en haricot pour un contrôle correct de la maladie. En effet, de nouvelles fleurs apparaissent pendant 15 à 21 jours après le début de la floraison selon les conditions climatiques et les variétés (UNILET, 2012). Ces fleurs ne sont donc pas protégées par le premier traitement.

Les mesures prophylactiques jouent un rôle important afin de limiter la propagation de la maladie favorisée par une situation d'humidité persistante au niveau des tiges. Il est important de jouer sur les stratégies de contrôle suivantes :

- maintenir un bon drainage du sol
- éviter une densité de semis trop forte afin de maximiser le séchage du feuillage
- éviter les plantes blessées qui forment une entrée possible aux champignons
- éviter une surfertilisation azotée qui entraîne un fort développement de la végétation et une verse précoce
- contrôler les mauvaises herbes qui maintiennent l'humidité et qui peuvent être hôte de *Sclerotinia*
- alterner avec des cultures non hôtes (céréales à paille, maïs, graminées fourragères) et augmenter les délais de retour entre 2 cultures sensibles (Tableau 1)
- appliquer un Contans avant ou après chaque culture sensible
- labourer les débris de culture immédiatement pour les faire dégrader.

Tableau 1 – Listes des cultures sensibles à *S. sclerotiorum*, avec les cultures les plus favorables au développement de la maladie en gras. Source : Unilet, 2012.

Légumes	Grandes cultures	Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates
Carotte, céleris, pois, haricot, flageolet, oignon, choux, courgette, endive, salade, melon	Colza, tournesol, pomme de terre, tabac, féverole, lupin, luzerne, soja	Trèfle, vesce, phacélie, radis, moutardes, navette

S'il s'avère nécessaire de semer les haricots dans un champ ayant déjà eu ce précédent cultural, faire des rotations culturales appropriées et ne pas faire de labour permet de réduire le risque de la maladie. Sur tournesol, Wu (2008) mentionne le fait qu'il faut attendre au moins 4 ans, si l'on fait des rotations avec des cultures non hôtes, avant de revenir planter sur une parcelle où des dégâts liés à *Sclerotinia* ont déjà été observés. Il a été démontré que la fructification des sclérotés sous une culture de betterave à sucre, non sensible au *Sclerotinia*, est la même qu'en culture de haricot. Etant donné que les spores ne trouvent pas d'hôtes la quantité de sclérotés n'augmente pas et ceux qui ont germé s'épuisent et meurent. Cela permet de diminuer la quantité d'inoculum primaire (Maheu, 1999).

En général, le haricot commun est semé avec un espacement de 0,45 à 0,55 m entre les rangs et au sein du rang on trouve 10 à 12 plants par mètre linéaire. Il est même parfois possible de voir 16 plants par mètre linéaire sur le rang. Pour des cultivars à croissance indéterminée, réduire la densité de semis au sein du rang tout en gardant un espacement entre rangs constant (0,5 m) permet de diminuer la sévérité de la maladie et d'augmenter le rendement (Vieira *et al.*, 2010).

Il est nécessaire d'avoir une bonne gestion de l'irrigation (facteur critique en ce qui concerne la pourriture blanche). L'humidité au sein de la canopée doit être réduite et une irrigation excessive évitée dans la mesure du possible. Une irrigation peut être planifiée afin de permettre au feuillage de sécher avant la tombée de la nuit. Diminuer la fréquence d'irrigation pendant les périodes de production d'ascospores permet de réduire le temps où les feuilles sont humides et donc la maladie (Dhliwayo, 2008). Il vaut mieux diminuer la fréquence de passage au profit de la dose apportée si l'architecture de la plante le permet (2 fois 25 mm plutôt que 3 fois 15 mm par exemple) (UNILET, 2012). L'intensité des pluies a un impact sur le collage des pétales sur les feuilles et tiges. Une forte pluie (>20 mm/h) aura tendance à augmenter la quantité de pétales lessivés alors qu'une pluie plus fine (<20 mm/h) favorise le collage des pétales sur la plante (Varrailon, 2012).

Il existe des agents de contrôle biologique contre *Sclerotinia* (cf. Table 1) tels que *Bacillus subtilis* QST 713, *Coniothyrium minitans* CON/M/91-08, *Streptomyces lydicus* WYEC 108 et *Trichoderma harzianum* T-22. La lutte biologique s'est développée suite à l'apparition de résistances aux matières actives de la famille chimique des benzimidazoles. Cependant, seul *C.minitans* a été commercialisé avec succès sous forme de spores (Chitrampalam *et al.*, 2008).

Lorsque la lutte biologique est employée, aucun labour ne doit être fait, le pathogène doit rester à la surface du sol où les agents de bio-contrôle peuvent lutter efficacement. Si le sol n'est pas labouré, il y aura d'avantage d'effritement et de biodégradation des sclérotés dont l'enveloppe va se fissurer. Les sclérotés craquelés manquent de nutriments et sont plus

facilement colonisés par les micro-organismes, puis dégradés. L'activité biologique est également plus importante à la surface du sol.

L'application de 2 à 4 kg/Ha de *C.minitans* peut se faire avant semis ou après récolte sur les débris de la culture contaminée L'incorporation au sol doit se faire dans l'heure qui suit avec un travail superficiel du sol (0 à 10 cm) à la herse ou rotalabour. Une durée de 2 à 3 mois est nécessaire à l'installation du champignon, l'horizon traité ne doit pas être labouré durant cette période. Il est conseillé de répéter le traitement plusieurs années de suite pour désinfecter les différents horizons du sol (UNILET, 2012).

D – Les modèles d'avertissement de la maladie

C'est dans les années 80 que les premiers modèles d'avertissement de la maladie ont été développés avec comme paramètres la densité de la canopée et l'humidité du sol. Plus tard, les modèles développés ont gardé ces mêmes paramètres mais incluaient les précipitations. Des algorithmes de risques préliminaires ont été proposés afin de prédire l'occurrence des apothécies et des ascospores, le début des épidémies et la nécessité de procéder à une première application fongicide.

Sur colza, les modèles utilisés pour prévenir la maladie utilisent une combinaison de variables telles que les précipitations, l'humidité du sol, la densité de la canopée, le niveau d'infestation des pétales par *S. sclerotiorum*, le précédent cultural... Pour le haricot, les modèles de prévision utilisent le potentiel matriciel du sol, la densité de la canopée et la floraison.

Des modèles de type logistique ont été utilisés pour identifier les facteurs influant sur la fréquence régionale d'apparition de *Sclerotinia*. Sur haricot par exemple, si la variable dépendante est « absence ou présence de la maladie dans la parcelle », Mila (2003) a montré que les variables d'entrées ayant une influence sur l'apparition de la maladie sont les températures moyennes de mars à aout, les précipitations totales sur la même période et la texture du sol (pourcentage de sable, d'argile et limon).

Pour construire un algorithme de risque sur carotte, trois facteurs ont été retenus : le pourcentage de couverture du sol par la canopée, la valeur journalière moyenne du potentiel matriciel du sol, et les températures journalières minimale et maximale du sol. Un point risque est attribué à chaque variable selon sa valeur, une note plus grande désignant un risque plus important. Un indice est ensuite calculé sur 7 jours en multipliant les points risques (voir figure 4) :

$$\text{Indice} = \sum(\text{jour1 à 7}) (\text{Canopy Growth} * \text{Soil Matric Potentiel} * \text{Soil Temperature})$$

Avec Canopy Growth = point risque lié à la couverture du sol par la canopée

Soil Matric Potentiel = point risque lié au potentiel matriciel du sol

Soil Temperature = point risque lié à la température du sol.

Lorsque la valeur de l'indice dépasse la valeur seuil défini par le modèle, le traitement est suggéré (Foster *et al.*, 2011).

Table 3. Crop and microclimate risk factors, factor sub-ranges, and corresponding multiplier values of risk points used to calculate risk for the occurrence of apothecia and ascospores^a of *S. sclerotiorum*.

Risk factor	Factor sub-range	Risk points ^b
Crop		
Canopy growth	<95% of soil surface shaded	0
	95 to 100% of soil surface shaded	1
Micro-climate		
Soil matric potential ^c	< -40 kPa	0
	-40 to -30 kPa	1
	-30 to -20 kPa	2
	> -20 kPa	3
Soil temperature ^c (Mean/Maximum)	≥25 / ≥30 °C	0
	<25 / <30 °C	1
	≤22 / ≤27 °C	2
	≤19 / ≤24 °C	3

Notes: ^aComputation of the risk for ascospores uses canopy growth and soil matric potential factors only.
^bRisk points represent the degree of suitability of the factor sub-range in a scale of 0 to 3.
^cMean or maximum (soil temperature) daily values.

Figure 4 – Evaluation des points risques des facteurs utilisés pour le calcul de l’occurrence des apothécies et des ascospores de *S. sclerotiorum*. Source : FOSTER *et al.*, (2011).

Sur colza, à l’aide des « kits pétales », Penaud (2006) a établi un pourcentage seuil de fleurs infectées supérieur ou égal à 30 % pour déclencher un traitement fongicide. Pour un pourcentage de fleurs infectées compris entre 30 et 50 %, le risque d’attaque est moyen, l’attaque pouvant être nuisible dans moins de 3 % des cas (attaque supérieure à 10 %, avec des pertes de l’ordre d’1 q/ha par tranche de 10 % d’attaque). Le fongicide préconisé est le moins onéreux possible (type triazole) afin que l’application soit économiquement rentable. Pour un pourcentage de fleurs infectées supérieur à 50 %, le risque d’attaque nuisible est élevé, un traitement avec les fongicides les plus efficaces (type imides) est préconisé. Le modèle RAISO-Scléro permet de raisonner l’application fongicide en reproduisant les taux de fleurs contaminées tout au long de la floraison avec 5 jours de projections climatiques.

En Allemagne, sur colza, l’OAD SkleroPro (Koch *et al.*, 2007) est également basé sur des données agro-météorologiques et permet de raisonner l’application de fongicides durant la période de floraison. Le modèle utilise les variables météorologiques (température de l’air, humidité relative, précipitations, heures d’ensoleillement) fournies par la station météorologique la plus proche pour évaluer le microclimat au sein de la canopée. A l’aide de ces données, le modèle calcule également le développement de la culture.

Contrairement à RAISO Sclero, l’OAD SkleroPro ne contient pas de fonction prédictive du développement des apothécies. L’utilisateur rentre la date de début du stade bouton floral ainsi que le type de rotation culturale. Le nombre d’heures où les conditions sont propices à l’infection des tiges commence lorsque la culture atteint la fin du stade bouton floral (bouton jaune-blanc) et se termine à la fin de la floraison. Un risque de sclérotiniose à

l'échelle 'régionale' est prédit par le modèle lorsqu'on atteint 23h de conditions météorologiques propices à l'infection des tiges pour un délai de 3 ans entre deux colzas. Cette valeur est pondérée par la rotation culturale, elle est multipliée par un facteur 0,8 (soit 18,4h) en cas d'une rotation sur 2 ans ou moins, et par un facteur 1,3 (soit 29,9h) en cas de rotations supérieures ou égales à 4 ans. Une fois cette valeur atteinte, le modèle détermine une seconde valeur seuil correspondant au nombre d'heures où les conditions météorologiques sont propices à une infection provoquant une perte économique pour l'agriculteur. Lorsque l'on atteint cette valeur, le modèle propose à l'agriculteur d'effectuer un traitement fongicide.

Sur haricot, la grille Hasclerix, développée par l'UNILET et BASF AGRO, prédit les risques de sclérotiniose avant semis pour la région Bretagne. Cet outil prend en compte le nombre de cultures sensibles sur 10 ans, le nombre de carottes et céleris sur 10 ans, l'ancienneté des dégâts, le risque climatique et l'irrigation. Un nombre de points risques est attribué à chaque facteur selon son importance. Le nombre maximum de points risques pouvant être attribués est égal à 80. Au-delà de 60, on considère que la parcelle présente un risque fort et un total inférieur à 40 correspond à un risque faible. Selon le risque, des recommandations agronomiques sont faites au producteur (UNILET, 2008).

II - Matériels et méthodes

A - Données climatiques

Les données climatiques sont fournies par la station météorologique la plus proche de l'essai. Le code postal de la parcelle, saisi par l'utilisateur, permet au modèle de repérer cette station. Les données météorologiques journalières, températures cardinales, précipitations et humidité relative sont utilisées par le modèle pour estimer le microclimat du sol (température et potentiel hydrique) selon sa texture, et pour estimer la maturation des apothécies et les lâchers d'ascospores. La température du sol a été estimée en utilisant la méthode implémentée dans STICS (Brisson *et al.*, 1998) et le potentiel hydrique du sol a été calculé à l'aide de la méthode Green-Ampt.

La température du sol à la profondeur z est égale à :

$$T_{sol}(z) = T_{solveille}(z) - (AMPL_z / AMPL_{surf}) (T_{culveille} - T_{min}) + 0.1 (T_{cultveille} - T_{solveille}(z)) + AMPL_z / 2$$

avec :

- $T_{solveille}(z)$ température du sol à la profondeur z la veille
- $AMPL_z$ l'amplitude thermique à la profondeur z
- $AMPL_{surf}$ l'amplitude thermique à la surface du sol
- $T_{culveille}$ température journalière moyenne à la surface la veille
- T_{min} température minimale

La méthode Green-Ampt est fonction du front de succion du sol, de sa porosité et de sa conductivité hydraulique et du temps :

$$f(t) = K_s \left[\frac{(\Psi * \Delta\theta)}{F(t)} + 1 \right]$$

avec :

- $f(t)$ = capacité d'infiltration en mm/h
- $F(t)$ = infiltration cumulée en mm
- $\Delta\theta = \theta_s - \theta_i$ = différence entre la teneur en eau à saturation et la teneur en eau initiale (adimensionnel).
- K_s = conductivité hydraulique à saturation en mm/h.
- Ψ = potentiel matriciel au front d'humectation en mm.

B - Le modèle

Le modèle ne prend en compte que l'infection des fleurs par les ascospores. Les infections mycéliennes sont écartées car l'impact de ce type de contamination est faible dans l'épidémiologie de la maladie. Il est constitué de 2 parties distinctes : un module plante et un module maladie.

Le module plante calcule la période et dynamique de floraison du haricot selon son type, la date de semis, les conditions climatiques et la photopériode.

Le module maladie prévoit la maturation des apothécies et la libération des ascospores à l'aide des données climatiques (température et humidité de l'air et du sol). Le modèle considère que la germination des sclérotés est possible pour un potentiel hydrique du sol supérieur ou égal à -100 kPa et des températures du sol comprises entre 15 et 20°C. La maturation des apothécies est simulée dans un horizon moyen de sol de 5cm. La durée de vie des apothécies varie entre 8 et 20 jours selon les conditions climatiques. Le processus de libération des ascospores est simulé lorsqu'une brusque décroissance de l'humidité est détectée, soit quand l'humidité relative passe de 90-95 % à 65-75 %. Cette variation de l'hygrométrie est souvent accompagnée d'une variation de la température.

La période de sensibilité du haricot est estimée par réunification de ces deux modules. Le modèle estime le pourcentage de fleurs contaminées en fonction de la période de floraison de la plante.

Pour obtenir une simulation, l'utilisateur doit saisir la référence qu'il a donné à sa parcelle, le code postal du lieu où est située la parcelle, l'année, la date de semis, le type de haricot semé et les dates des irrigations ainsi que la quantité d'eau apportée à chaque irrigation, et le type de sol. L'utilisateur peut aussi rentrer la date de floraison s'il la connaît, sinon elle sera estimée par le modèle.

La date de semis va permettre au modèle d'estimer la date de début de floraison en cumulant les degrés-jours selon le type de haricot. La date du début de floraison définit le début de la période où un risque de contamination existe. Le calcul du pourcentage de fleurs contaminées se fait à partir de cette date. Il est donc important que l'utilisateur la valide ou la modifie s'il la connaît pour mieux estimer les contaminations. Le type de sol ainsi que les

données concernant précipitations et irrigations permettent d'évaluer le potentiel hydrique du sol.

C – Mise en place d'un réseau de parcelles:

Pour valider la courbe de lâchers des ascospores fournie par le modèle, un objectif d'environ 120 parcelles suivies a été fixé dans la zone Bretagne, Loire-Atlantique, Vendée. Afin d'obtenir les parcelles nécessaires à la mise en place des essais en plein champ, 5 coopératives sont sollicitées pour l'opération, TRISKALIA, la CAVAC, la CECAB, CLAL St-Yvi et Legumia.

Grâce à ces différentes coopératives, il est possible de sélectionner des parcelles dans différentes zones géographiques. De plus, selon la zone le risque sclerotinia est plus ou moins fort comme cela a été démontré lors de la mise en place de la grille Hasclerix qui évalue le risque d'attaque par le *S. sclerotiorum* avant semis selon les conditions agro-climatiques. La zone 1 représente une zone à fort risque de sclérotiniose car elle regroupe des exploitations légumières à doubles cultures généralisées et où l'irrigation est quasi-systématique. La zone 2 correspond à un risque moyen, il s'agit d'une zone intermédiaire entre la zone légumière et la zone 3. Le risque de la zone 3 est plus faible car le climat y est plus froid et plus humide, l'irrigation très rare. Cette zone regroupe des exploitations de type polyculture élevage. Les légumes interviennent en général une fois tous les 5 ou 10 ans après pâture ou après des céréales.



Figure 5 – Cartographie des zones de production en fonction du risque de sclérotiniose.
Source : UNILET, 2008. Mise au point d'une grille de risque en Bretagne, UNILET infos N°130, pp 16-17.

Le choix des parcelles se fait avec le technicien de la coopérative responsable d'un secteur donné. Ainsi pour chaque secteur sélectionné, le technicien fournit les coordonnées d'agriculteurs ayant des parcelles présentant un risque d'attaque par le sclérotinia qu'il estime moyen ou fort. Une dizaine de parcelles ont été choisies avec la CAVAC, une trentaine avec la Cecab, une trentaine avec TRISKALIA, une vingtaine avec le groupe CLAL St-Yvi, et une dizaine avec Légumia.

Les parcelles sélectionnées regroupent des semis précoces (mai, début juin), de saison (mi-juin) et tardifs (fin juin, début juillet). Toute la période de semis est couverte par les simulations du modèle. D'après les travaux précédents, il a été montré que le risque *Sclerotinia* est plus fort sur des semis tardifs. Les jours étant plus courts, le cycle de culture est rallongé (80 jours ou plus au lieu de 70 jours, cf. annexe VI). La culture est exposée plus longtemps à la maladie.

La carte ci-dessous (Figure 6) récapitule les secteurs où les essais ont été mis en place en Bretagne et Vendée. En Bretagne, 82 parcelles ont été suivies et couvrent les 3 zones régionales de risque définies à l'aide de l'outil Hasclerix. Les secteurs sélectionnés en Vendée et Loire-Atlantique sont également représentés. 7 parcelles ont été implantées sur ces 2 départements et correspondent à des semis précoces (début mai et mi-mai).

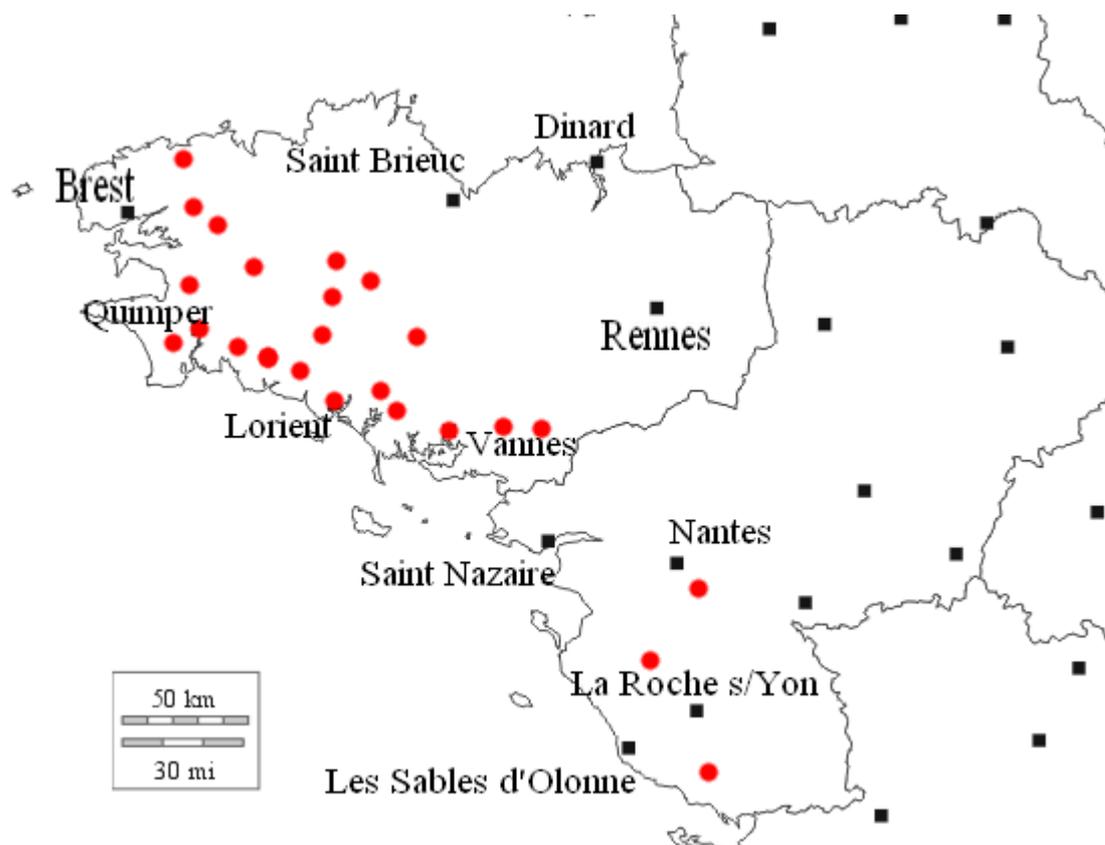


Figure 6 – Cartographie des parcelles suivies en 2012 en Bretagne, Loire-Atlantique et Vendée. *Source pour le fond : histgeo.ac-aix-marseille.fr*

Avant de jalonner la zone non traitée, les agriculteurs sont informés de l'essai par téléphone. Une prise de rendez-vous est faite pour repérer la parcelle et réaliser le piquetage. Lors du piquetage, un questionnaire (cf. annexe V) est soumis au producteur. Ce questionnaire permet de récolter des informations concernant les rotations culturales sur la parcelle, la présence et la localisation éventuelle de l'inoculum sur celle-ci, l'intensité et la date des dernières attaques, l'incorporation dans le sol de *C. minitans*, champignon parasite de *S. sclerotiorum*.

Grâce à ces informations, on peut estimer si la quantité d'inoculum présent sur la parcelle est faible, moyenne ou forte. L'agriculteur est prévenu de l'importance de noter les dates d'irrigation et la quantité d'eau apportée à chaque passage dans le cadre du modèle. Les données concernant les irrigations (date et quantité d'eau apportée) seront récupérées après récolte.

La zone non traitée (ZNT) d'une largeur d'une demi-rampe ou une rampe de pulvérisateur sur 10 m de longueur est délimitée à l'aide de quatre fanions afin d'être bien visible par l'agriculteur.



Figure 7 – Délimitation de la zone non traitée dans la parcelle 'agriculteur'. *Source personnelle.*

D-Suivi des contaminations au champ

Au stade début floraison + 4-5 jours et au stade début floraison + 10-12 jours, des « kits pétales » sont réalisés dans la zone non traitée. Les « kits pétales » nous renseignent sur le risque potentiel de contamination de la culture par *S.sclerotiorum*. La date de début floraison est estimée en ajoutant 40 jours à la date de semis.

A chaque kit pétale, 40 fleurs jaunes (fleurs âgées de 2 jours) sont prélevées par le pédoncule à l'aide de gants et placées face avant dans les coupelles sur un milieu nutritif (agar) contenant un indicateur de pH. 10 coupelles de 4 fleurs jaunes sont ainsi réalisées. Ces kits sont conservés au frais pendant le transport puis placés à l'obscurité et à température ambiante.

Après 4 à 6 jours d'incubation dans ces conditions, le milieu nutritif passe du bleu au jaune en cas de présence du champignon et un mycélium dense se forme à la surface (Figure 8). Le pouvoir pathogène de *S. sclerotiorum* est corrélé à la synthèse d'acide oxalique (Penaud, 2009). Cet acide oxalique va donc acidifier le milieu d'agar et faire virer l'indicateur de pH.



Figure 8 – Kit pétale détectant la présence de *S. sclerotiorum* sur une fleur. *Source personnelle.*

Lors du premier kit pétale, des mesures seront faites afin d'évaluer l'importance de la végétation. La hauteur moyenne des plants est calculée à partir de 4-5 mesures, la partie non recouverte entre 2 plants est également évaluée à partir de 4-5 mesures et l'inter-rang mesuré. On peut en déduire le pourcentage de recouvrement de la parcelle. La densité est évaluée sur 4 * 2 mètres linéaires. La biomasse au stade floraison est déterminée par pesée des plants prélevés sur 2*2 mètres linéaires. Les plants prélevés pour ces différentes mesures sont coupés au collet.

Au stade récolte, on évalue les dégâts occasionnés par le champignon sur 50 plants prélevés dans la ZNT et 50 plants prélevés dans la parcelle de l'agriculteur, celle-ci ayant généralement été traitée avec des fongicides. Les plants prélevés sont coupés au collet. Les dates prévisionnelles des récoltes sont obtenues avec les techniciens des différentes coopératives.

Pour chaque zone, les 50 plants prélevés sont répartis selon les classes d'attaque suivantes (Tableau 2):

Tableau 2 : Classes d'attaque des plants par *Sclerotinia sclerotiorum* selon les symptômes observés. *Source* : Directive OEPP 1/54 'Evaluation biologique des fongicides contre *Botrytis spp.* et *Sclerotinia spp.* sur cultures légumières'.

Classes	Symptômes de sclérotinia
A	Plantes saines
B	Plantes présentant 1 à 2 taches de maladie sur tiges ou gousses ou une nécrose sèche sur tige de moins de 5 cm de long (Annexe II)
C	Plantes présentant plus de 2 taches de maladie ou une nécrose sèche de plus de 5 cm de long. Destruction de la plante (maladie, dessèchement) < à 40% (Annexe II)
D	Destruction de la plante (maladie, dessèchement) > à 40% (Annexe III)

On peut ainsi déterminer le pourcentage de plants atteints pour chaque classe et le pourcentage total de plants touchés par *S. sclerotiorum*. Une baisse de rendement est observée pour les plants classés C et D. Les 2 * 50 plants prélevés dans la ZNT et ZT sont pesés dans le but de comparer la biomasse des 2 zones.

Afin de pouvoir comparer la sévérité de l'attaque entre les différentes parcelles, l'indice pathologique (IP) est calculé :

$$IP = (\%A*0) + (\%B*0.25) + (\%C*0.5) + (\%D*1)$$

L'attaque est :

- très faible pour un IP < 20 %
- faible pour un IP compris entre [20-40[%,
- moyenne pour un IP compris entre [40-60[%,
- forte pour un IP compris entre [60-80[%
- très forte à partir de 80 %.

Toutes les données collectées serviront à interpréter les simulations fournies par le modèle, et permettront peut-être de suggérer des pistes d'amélioration.

E – Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R®.

Un test de comparaison de moyennes est fait afin de comparer les données observées à l'aide des kits pétales et les données théoriques simulées par le modèle en ce qui concerne les lâchers de spores avec comme valeur $\alpha=0.05$.

Les courbes ROC sont utilisées pour comparer 3 valeurs de l'indice pathologique. Les 44 parcelles ont été séparées en 2 groupes selon la valeur de l'indice pathologique (IP). Le premier groupe contient les parcelles dont l'IP est supérieur ou égal à la valeur seuil testée (IP_s) et le second contient les parcelles dont l'IP est inférieur à la valeur seuil testée (IP_s). Les parcelles sont ensuite classées selon les valeurs correspondant à l'infection des pétales (I). Cette valeur est comparée à une autre valeur seuil (I_s). I_s représente le seuil pour lequel le risque d'attaque est élevé et le traitement recommandé.

Les parcelles sont ainsi réparties en 4 sous-groupes :

- TP (True Positive) qui contient l'ensemble des parcelles pour lesquelles $I > I_s$ et $IP > IP_s$, le traitement est conseillé et justifié
- TN (True Negative) qui contient l'ensemble des parcelles pour lesquelles $I < I_s$ et $IP < IP_s$, le traitement n'est pas conseillé et pas justifié.
- FN (False Negative) qui contient l'ensemble des parcelles pour lesquelles $I < I_s$ et $IP > IP_s$, le traitement n'est pas conseillé mais il aurait été justifié
- FP (False Positive) qui contient l'ensemble des parcelles pour lesquelles $I > I_s$ et $IP < IP_s$, le traitement est conseillé mais n'est pas justifié.

La courbe ROC est la représentation graphique de la sensibilité en fonction de (1-spécificité) pour tous les I_s possibles. La sensibilité est la probabilité d'avoir une valeur d'infection des pétales supérieure au seuil I_s lorsque l'IP est supérieur à IP_s . La spécificité est la probabilité que la valeur d'infection des pétales dépasse I_s alors que le l'IP est inférieur à IP_s . Un test est satisfaisant lorsqu'il se rapproche du point (0,1) et ne donne aucune information lorsqu'il passe par les points (0,0) et (1,1).

L'aire sous la courbe (AUC) estime la précision de l' IP_s testé.

III - Résultats

A – Caractéristiques parcelles et conditions météorologiques

1 – Parcelles suivies en 2009, 2010 et 2011

Une première évaluation du modèle a été faite par l'UNILET en 2009, 2010 et 2011. Au cours de ces 3 dernières années, 29 parcelles avaient été suivies en Bretagne. Il s'agit des premières simulations de contaminations faites par le modèle sur haricot.

Les dates de semis sont échelonnées de mi-juin (12/06/2009, 17/06/2010 et 23/06/2011) à mi-juillet (10/07/2009, 07/07/2010 et 21/07/2011). La majorité des parcelles sont semées en variétés verts et beurres, seulement une parcelle a été semée en flageolet.

18 des 29 parcelles ont été irriguées au moins une fois entre le semis et la récolte. En moyenne, les agriculteurs ont apporté au total 73,6 mm d'eau en 3,2 passages.

Selon les hypothèses du modèle, 20 parcelles sont caractérisées par un sol limoneux et 9 par un sol sableux. 32 kits pétales sont exploitables afin de comparer les contaminations réelles aux contaminations théoriques du modèle.

2 – Parcelles suivies en 2012

En 2012, ce sont 89 parcelles qui ont été suivies. 7 parcelles ont été semées en flageolet, 3 en haricot plat et les 79 autres parcelles en été semées soit en vert soit en beurre. Les semis s'étalent du 11/05/2012 au 16/07/2012.

Cette année, on observe des dates de semis très regroupées. En effet, la forte pluviométrie de mai et juin a fortement perturbé le bon déroulement des programmes de semis initialement prévu par les coopératives. La station météorologique de Riec sur Belon (29) dénombre 9 jours de pluie en mai avec un total des précipitations de 82,7 mm et 11 jours de pluie en juin pour un total des précipitations de 104,7 mm.

4 parcelles ont un type de sol plutôt argileux, 6 parcelles plutôt sableux et la grande majorité (79 parcelles) un type de sol limoneux. Pour le moment, 175 kits pétales ont été réalisés.

A ce jour, on dispose des dates d'irrigation et de la quantité d'eau apportée pour 25 parcelles. Ces données ont été obtenues auprès des agriculteurs après que la récolte ait eu lieu. Cependant, malgré les avoir prévenu de l'importance de noter précisément les dates d'irrigation lors du piquetage de la parcelle, certains d'entre eux ont oublié de le faire ou n'ont noté que la semaine où l'apport a été réalisé. Les quantités d'eau apportées ont bien été renseignées. Elles varient entre 20 et 100 mm au total et le nombre de passage varie de 1 à 5. Les parcelles situées en Vendée et au sud de Nantes ont reçu des quantités d'eau plus grande pour un nombre de passage plus élevé, 60 mm d'eau en 2,8 passages en moyenne contre 43,2 mm pour 1,8 passage en Bretagne.

En ce qui concerne la végétation, on dénombre 15 parcelles semées avec un inter-rang de 37,5 cm, les 74 autres ont été semées avec un inter-rang de 50 cm. Les parcelles situées en Vendée et au Sud de Nantes sont toutes semées avec un inter-rang de 37,5 cm. En Bretagne, où les conditions météorologiques sont généralement plus humides et plus fraîches, un inter-rang de 50 cm est privilégié pour permettre une meilleure circulation de l'air au sein du feuillage.

46 parcelles (52 %) ont une densité de semis supérieure à la moyenne (29,0 plants pour 2 ml). Une seule parcelle présente une densité de semis nettement inférieure à la moyenne, 17,5 plants pour 2 ml. 6 parcelles (7 %) ont des densités de semis plus faibles, entre 20 et 22 plants pour 2 mètres linéaires. Ces faibles densités sont souvent liées à de mauvaises conditions au moment du semis (mauvaise préparation du sol, forte pluie après semis, plants semés trop ou pas assez profond).

48 parcelles, soit 54 % d'entre elles ont une hauteur de la plante supérieure à la moyenne (39,2 cm). 13 parcelles (14,6 %) ont une hauteur faible (<30 cm). Les causes sont variables, un sol trop compacté, des plants asphyxiés par un excès d'eau et des conditions météorologiques peu poussantes.

Le recouvrement moyen est de 71 %. 47 parcelles présentent un pourcentage de recouvrement supérieur à cette moyenne. 13 parcelles ont un pourcentage de recouvrement supérieur à 55 %. Cela correspond aux parcelles ayant une faible hauteur moyenne des plants.

Ces différences de végétation se ressentent également sur la biomasse avec 43 parcelles ayant des biomasses à la floraison supérieures à la moyenne (2,27 kg pour 2*2m pesés). Les biomasses sont beaucoup plus hétérogènes que les autres mesures concernant l'importance de la végétation avec 24 parcelles ayant une biomasse très faibles (< 1,5 kg). Le nombre plus important de parcelles ayant une biomasse faible comparé au pourcentage de recouvrement et à la hauteur des plants où l'on avait quasiment le même nombre de parcelles avec une faible végétation s'explique par des parcelles ayant une densité de semis beaucoup plus faible. En général, une faible densité ne permet pas à la plante de compenser et d'obtenir une biomasse correcte. Les 2 mètres linéaires prélevés peuvent donc contenir un nombre de plants variable.

Il y a bien une différence significative d'indice pathologique entre la zone traitée et la zone non traitée. Le test de Kruskal-Wallis nous donne $P = 1.261 * 10^{-5}$. Cette valeur est bien inférieure à 0,05. La figure 9 représente la dispersion des indices pathologiques dans la zone non traitée (IP ZNT) et la zone traitée (IP ZT). On peut visualiser le minimum, premier quartile, médiane, troisième quartile et maximum des valeurs prises par l'indice pathologique dans chaque zone. Les points représentent des points extrêmes qui sont au-delà de 1,5 fois l'intervalle interquartile.

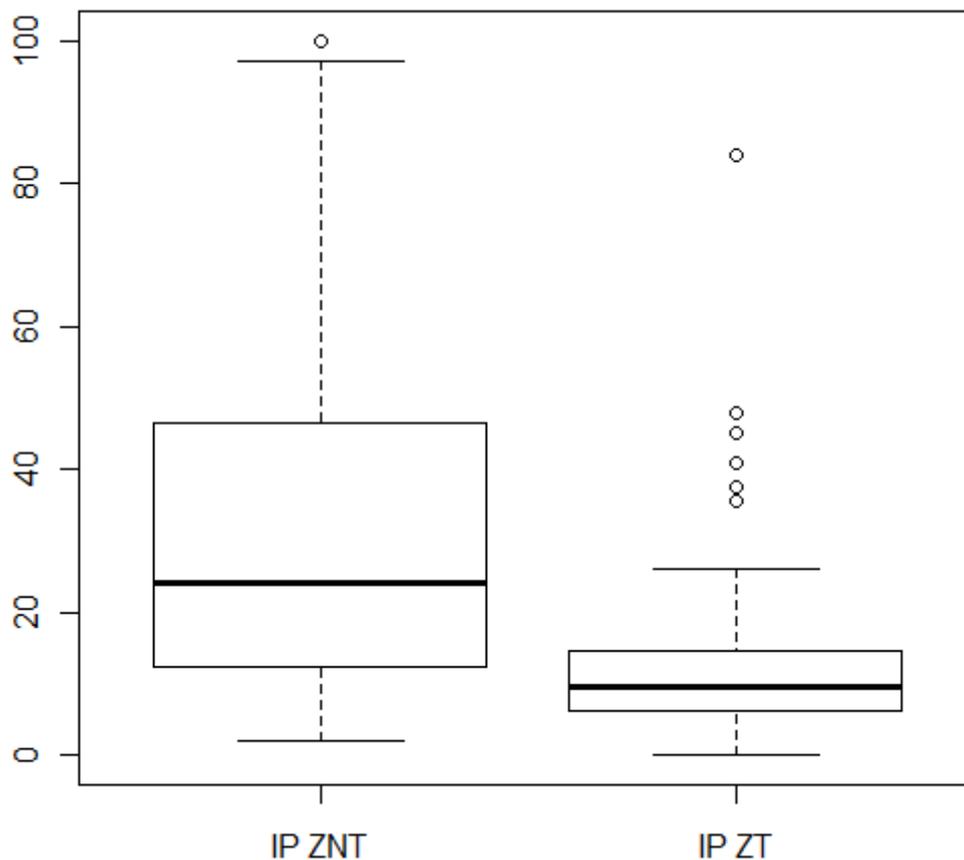


Figure 9 – Boîtes de dispersion des valeurs prises par l'indice pathologique dans la zone traitée et la zone non traitée.

On remarque que les valeurs prises par l'indice pathologique varient beaucoup plus dans la zone non traitée. Les parcelles n'ont pas toutes exprimé de la même façon la maladie. En effet, les zones non traitées ont été mises en place dans des parcelles où l'inoculum présent dans le sol pouvait être faible, moyen ou fort. De plus, les différences de végétation observées en début de floraison créent un microclimat plus ou moins favorable à l'installation et au développement de la maladie. Les parcelles irriguées favorisent la maladie en prolongeant les périodes humides favorables au pathogène.

L'indice pathologique est faible dans la grande majorité des zones traitées, on remarque quelques points extrêmes qui correspondent à un indice pathologique fort, l'agriculteur a soit mal positionné ses traitements fongicides ou n'a pas réalisé un nombre suffisant de traitement.

3 - Météorologie

Les années 2009, 2010 et 2011 ont été propices au développement de *S. sclerotiorum* avec des pluies régulières et des températures fraîches (Tableau 3).

Tableau 3 – Météorologie de Riec-sur-Belon (29) en 2009,2010 et 2011. *Source : Station météorologique de Riec-sur-Belon (29).*

Année/Mois	Nombre de jours de pluie	Total précipitations (mm)	T° moyenne (°C)
2009/Juin	6	59.4	16.8
2009/Juillet	17	94.1	17
2009/Aout	6	43.3	16.9
2010/Juin	5	31.8	17.1
2010/Juillet	9	36.2	17.9
2010/Aout	8	54	16.6
2011/Juin	10	67.8	15.2
2011/Juillet	9	55.7	16.2
2011/Aout	13	101.4	16.7

En 2012, les mois de juin et juillet ont également été particulièrement pluvieux et frais (Tableau 4).

Tableau 4 – Météorologie de Riec-sur-Belon en 2012. *Source : Station météorologique de Riec-sur-Belon (29).*

Année/Mois	Nombre de jours de pluie	Total précipitations (mm)	T° moyenne (°C)
2012/Juin	11	104.7	15.1
2012/Juillet	10	54	16.6

Les normales sur les 30 dernières années à Riec-sur-Belon sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5 – Météorologie de Riec-sur-Belon (29) des 30 dernières années. *Source : Station météorologique de Riec-sur-Belon (29).*

Mois	Nombre de jours de pluie	Total précipitations (mm)	T° moyenne (°C)
Juin	8	50.3	15.7
Juillet	7	52.2	17.7
Août	7	48.6	17.7

Sur ces 4 dernières années, les conditions climatiques sont donc très favorables au champignon. Les températures moyennes se situent dans les conditions optimales de développement (15 à 20 °C) et les précipitations ont été fréquentes.

B- Suivi des contaminations au champ :

1 – Données récoltées

Après avoir traité les données renseignées par l'utilisateur dans le tableau Excel, le modèle fournit à l'utilisateur ce type de simulation (Figure 10).

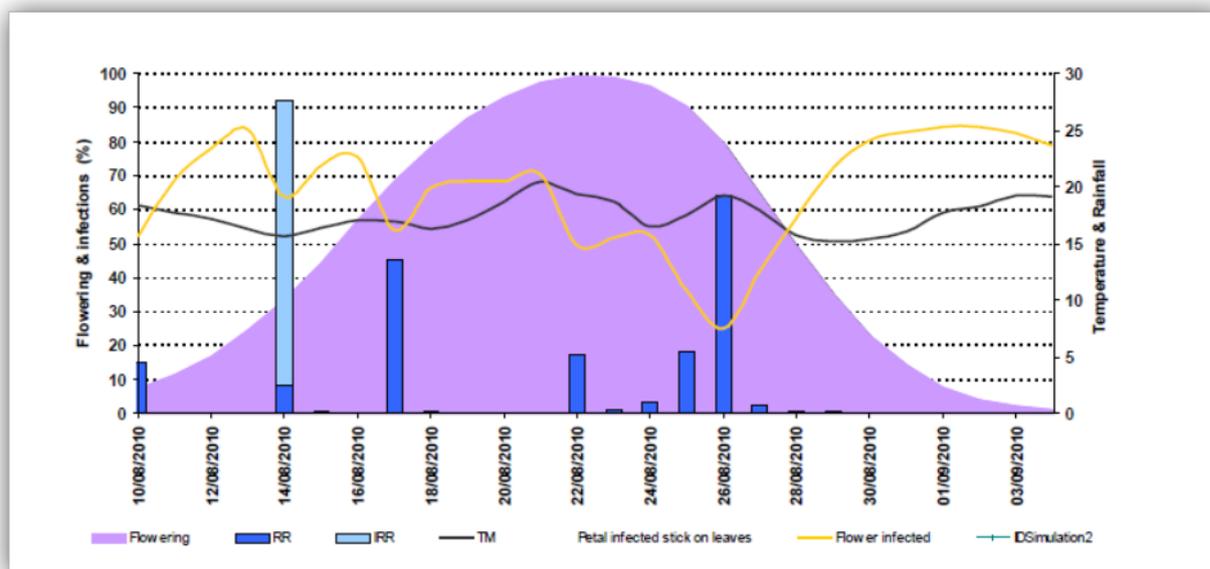


Figure 10 – Simulation issues du modèle de prévision des risques. *Source : SYNGENTA AGRO.*

L'aire mauve représente la période de floraison, les barres bleues foncées les précipitations, les barres bleues claires les irrigations qui sont cumulées aux précipitations, la courbe noire indique les températures alors que la courbe jaunes indique le pourcentage de fleurs infectées. Les résultats des kits pétales réalisés dans les parcelles expérimentales sont comparés aux valeurs théoriques fournies par le modèle le jour où du prélèvement.

Pour 2009, 2010 et 2011, après traitement des données (certaines ZNT ont reçu un ou plusieurs traitement(s) fongicide(s)), 29 observations sont utilisables dans une optique de comparaison des données « terrain » avec les données théoriques. Le tableau 6 récapitule le pourcentage moyen de fleurs infectées pour les 4 années de suivi.

Tableau 6 – Pourcentage moyen de pétales infectés par année.

Année	Pourcentage moyen de fleurs infectées observé	Pourcentage moyen de fleurs infectées simulé par le modèle	Nombre d'observations
2009	54.375	69.0625	16
2010	34.440	64.670	9
2011	68.125	70.500	4
2012	42.720	68.310	175

2 – Test de comparaison des moyennes

Sur le jeu de données des 4 années (204 observations), on teste les hypothèses de normalité et d'homoscédasticité.

Les résultats du test de Shapiro Wilk ($p\text{-valeur} = 1.099 \cdot 10^{-8} < 0.05$) et du test de Bartlett ($p\text{-valeur} = 3.668 \cdot 10^{-7} < 0.05$) montrent qu'on ne peut pas valider ces 2 hypothèses. Un test non paramétrique de comparaison des moyennes est réalisé. Le test de Kruskal-Wallis nous donne $p = 2.2 \cdot 10^{-16}$ (Tableau 7 et 8).

Les deux distributions sont significativement différentes au seuil $\alpha = 0.05$. L'écart-type est plus important pour les observations au champ que pour le modèle. Cela peut s'expliquer par le fait que le modèle suggère une forte quantité d'inoculum identique pour chaque parcelle, alors que les parcelles présentent une quantité d'inoculum variable liée aux précédents culturaux, au contrôle de la maladie lors des dernières cultures sensibles, de la fréquence de réalisation d'un Contans...

Tableau 7 : Pourcentage moyen de pétales contaminés sur les 4 années de suivi.

Source	Pourcentage moyen de pétales contaminés	Ecart-type
Kits pétales	43.77	24.45
Modèle	68.25	17.04

Tableau 8 – Résultats des différents tests statistiques.

P-valeur du test de Shapiro-Wilk	1.099*10 ⁻⁸
P-valeur test de Bartlett	3.668*10 ⁻⁷
P-valeur test de Kruskal Wallis	2.2*10 ⁻¹⁶

Un autre test de comparaison de moyennes est fait en ne gardant que les parcelles présentant un fort risque de maladie en 2012 comme suggéré par le modèle (Tableau 9). Au cours des 5 dernières années, ces parcelles présentent au moins une attaque de sclerotinia et plus de 2 cultures sensibles dans la rotation.

Les résultats sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 9 – Pourcentage moyen de pétales contaminés des parcelles où le risque sclérotinia est fort.

Source	Pourcentage moyen de pétales contaminés (2012)	Ecart-type	Nombre d'observations
Kits pétales	50.47	25.51	64
Modèle	70.39	16.22	64

Tableau 10 – Résultats des tests statistiques pour les parcelles où le risque sclérotinia est fort.

P-valeur du test de Shapiro-Wilk	2.71*10 ⁻⁵
P-valeur test de Bartlett	4.31*10 ⁻⁴
P-valeur test de Kruskal Wallis	6.96*10 ⁻⁶

En ne gardant que les parcelles à fort risque de contamination par *S. sclerotiorum*, on améliore la p-valeur du test de Kruskal-Wallis d'un facteur 10¹⁰, néanmoins, la valeur du test ne nous permet pas de conclure sur des distributions semblables. Il est surprenant de voir que pour les parcelles à fort risque, on augmente l'écart type pour les kits pétales. On peut expliquer cette augmentation par les conditions météorologiques lors du prélèvement, une forte pluie le jour du prélèvement a pu lessiver les pétales des feuilles, ou encore pour des plants à faible végétation, la quantité de fleurs étant limitée, on réduit fortement la probabilité que les pétales interceptent les spores.

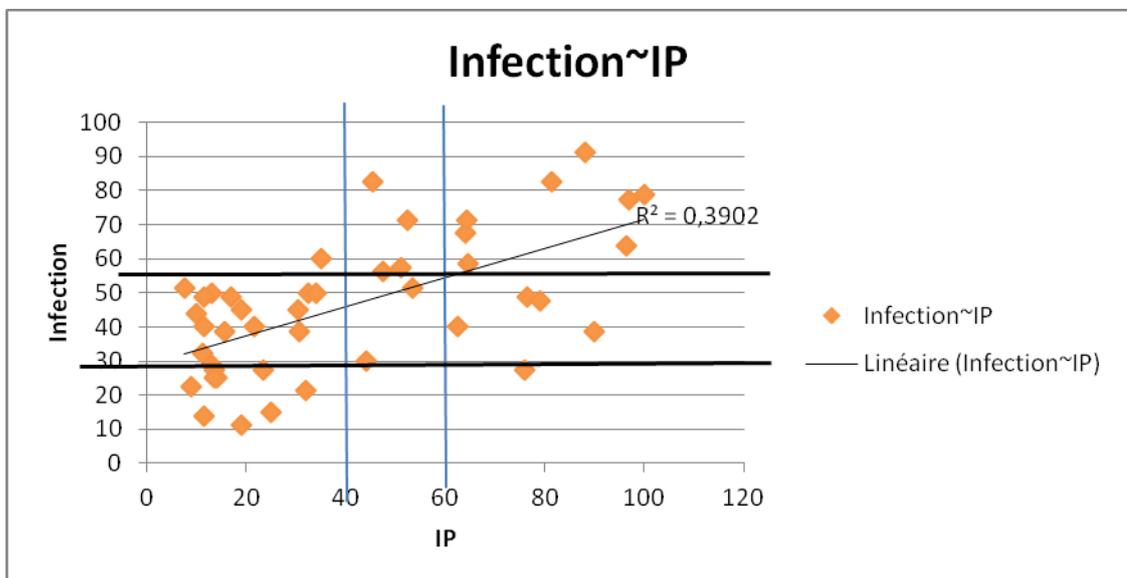
Il n'y a donc pas de corrélations entre la quantité de pétales infectés observée au champ et la quantité de pétales infectés estimée par le modèle. Une autre méthode serait de déterminer un seuil d'infection des pétales à partir duquel on a une forte probabilité qu'il y ait des dégâts nuisibles dans la parcelle.

3 - Détermination des seuils :

Afin de visualiser l'existence d'un seuil de contamination des pétales à partir duquel l'attaque risque d'être nuisible, l'infection des pétales (I) en fonction de l'indice pathologique (IP) est représentée à partir de toutes les données (Figure 11). Après avoir analysé les points extrêmes, on retire les parcelles présentant une faible hauteur (<30cm), un faible pourcentage de recouvrement (<55 %) et une faible biomasse (< à 1,5 kg). Ces parcelles représentent un biais car le risque de déclarer la maladie est faible malgré une forte infection des pétales car la circulation d'air au sein de la canopée est bonne.

Le pourcentage de fleurs infectées n'est pas corrélé à l'indice pathologique ($r^2=0.39$). Cependant, malgré des points extrêmes, deux seuils semblent se dégager, un premier seuil à moins de 30 % où la majorité des attaques ont un faible impact sur la culture (indice pathologique < 40 % fixé par l'UNILET). Un second à 55 % où la majorité des attaques ont un impact sur le rendement.

Figure 11 – Pourcentage d'infection des pétales en fonction de l'indice pathologique



Pour un taux de contamination des pétales inférieur à 30 %, l'attaque est faible dans 90 % des cas. Pour un taux de contamination des pétales supérieur à 55 %, l'attaque est nuisible à la culture dans environ 92 % des cas (indice pathologique supérieur à 60 %). Entre ces deux seuils, l'attaque a majoritairement un faible impact sur la culture dans 70 % des cas.

Les courbes ROC sont tracées pour déterminer la valeur de l'indice pathologique permettant de maximiser les taux de vrais positifs et de vrais négatifs. C'est-à-dire déterminer l'indice pathologique à partir duquel un traitement serait nécessaire afin de limiter les dégâts sur la culture.

Pour se faire, les parcelles sont classées en fonction du niveau de contamination des pétales et de la valeur de l'indice pathologique testée. On testera les valeurs suivantes $IP_s=20$ %, $IP_s=30$ % et $IP_s=40$ %.

Le logiciel R[®] donne les courbes suivantes (Figures 12, 13 et 14).

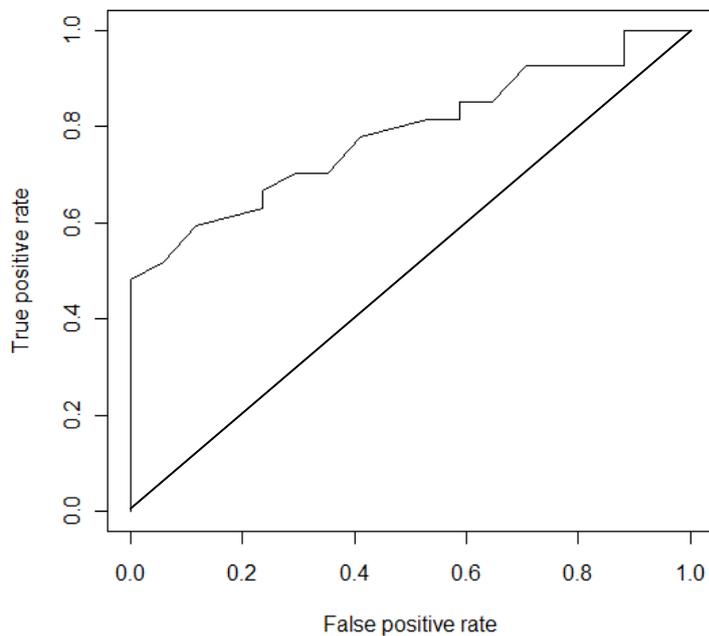


Figure 12 - Courbe ROC pour une valeur seuil de l'indice pathologique de 20 %

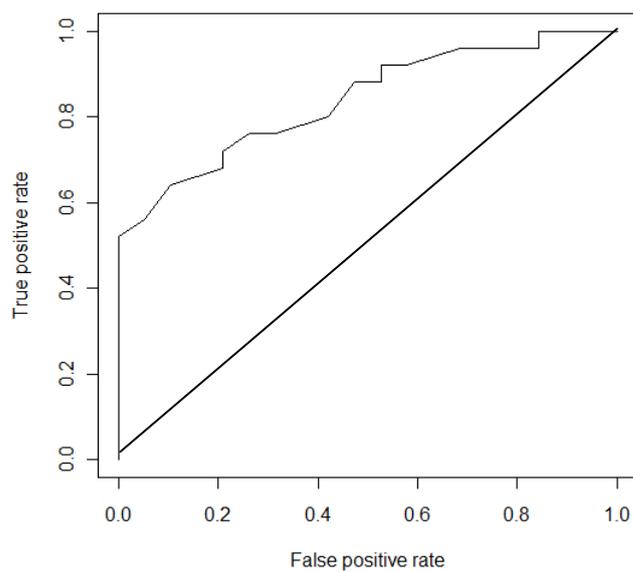


Figure 13 - Courbe ROC pour une valeur seuil de l'indice pathologique de 30 %

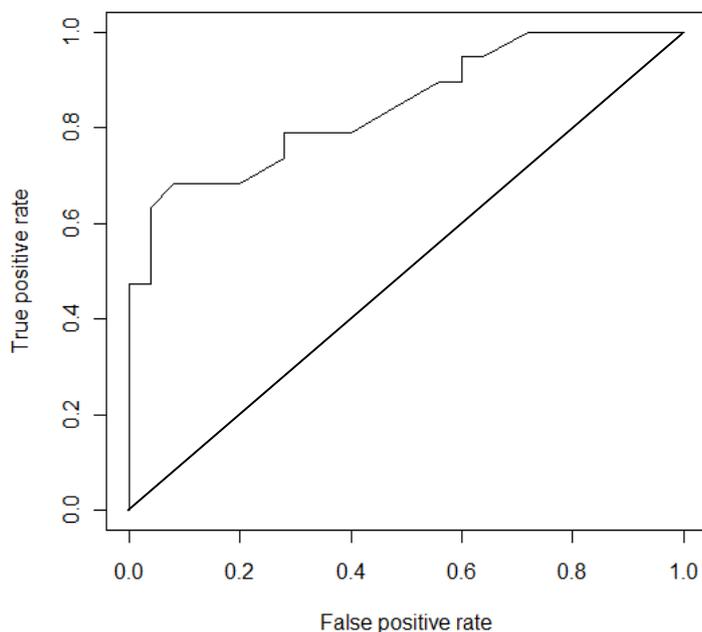


Figure 14 - Courbe ROC pour une valeur seuil de l'indice pathologique de 40 %.

Les valeurs de l'AUC pour chaque seuil sont résumées dans le tableau 11 et indiquent la pertinence de chaque valeur seuil testée.

Tableau 11 – AUC des différentes courbes ROC selon la valeur de l'IP_s testée

Valeur seuil de l'indice pathologique	AUC
20 %	0.78
30 %	0.83
40 %	0.845

En choisissant, une valeur seuil de 40 % pour l'indice pathologique, on maximise l'AUC. Un traitement est justifié lorsque l'indice pathologique prend cette valeur.

Une fois la valeur de l'indice pathologique déterminée, on cherche le seuil d'infection des pétales à partir duquel il serait intéressant de positionner un traitement en préventif. Pour déterminer ce seuil, on représente la fréquence des faux négatifs ($I < I_s$ et $IP > 40\%$) en fonction du pourcentage de pétales contaminés (Figure 15).

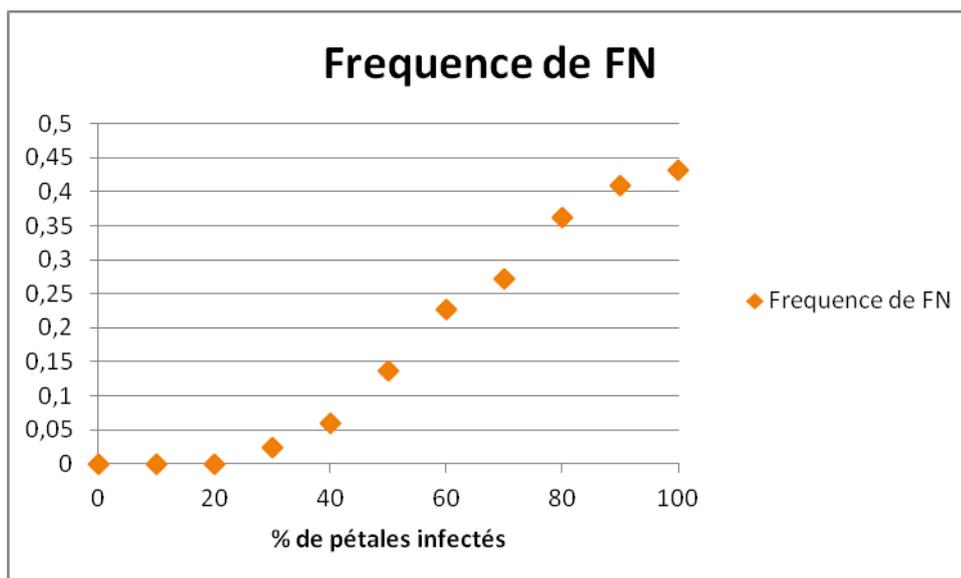


Figure 15 – Fréquence des faux négatifs en fonction du pourcentage de pétales infectés déterminé à l’aide des kits pétales.

Si on accepte un taux de faux négatif inférieur ou égal à 5 %, on fixe le seuil d’infestation des pétales à 30 % pour déclencher un traitement. Si on accepte une erreur de 10 %, on pourra fixer ce seuil à 40 % avant de prendre la décision de traiter.

4 - Fiabilité du modèle :

La courbe ROC tracée avec les données théoriques d’infection des pétales pour un $IP_s = 40\%$ est représentée dans la figure 16.

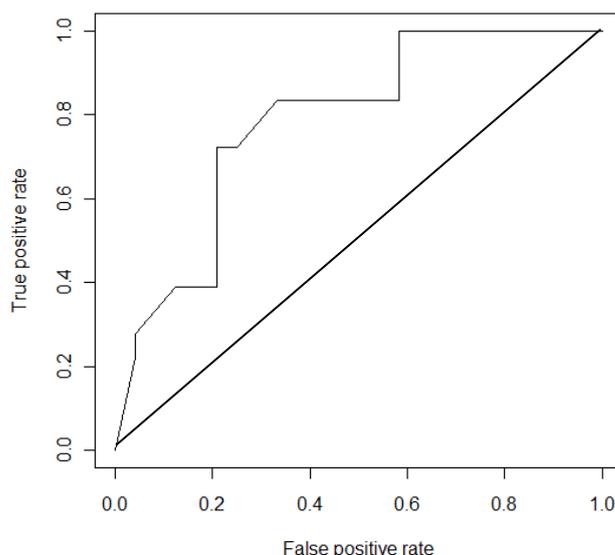


Figure 16 – Courbe ROC tracée avec les données théoriques du modèle pour un IP_s de 40 %.

L’AUC est de 0.78, cet indicateur est donc moins fiable que les kits pétales. Cependant, il reste très supérieur à 0.5, valeur pris par l’AUC pour un indicateur n’apportant aucune information.

En gardant un taux de pétales contaminés supérieur ou égal à 30 % pour positionner un traitement (on accepte 5 % d'erreur), on s'aperçoit que le modèle a tendance à surestimer les contaminations. En effet, le taux de faux négatif est nul et le pourcentage de faux positifs ($I > I_s$ et $IP < 40\%$) augmente (62,5 %). Le modèle ne donne aucun pourcentage de contamination inférieur à 30 %, ce qui revient à dire que l'attaque est nuisible dans tous les cas (Figure 17).

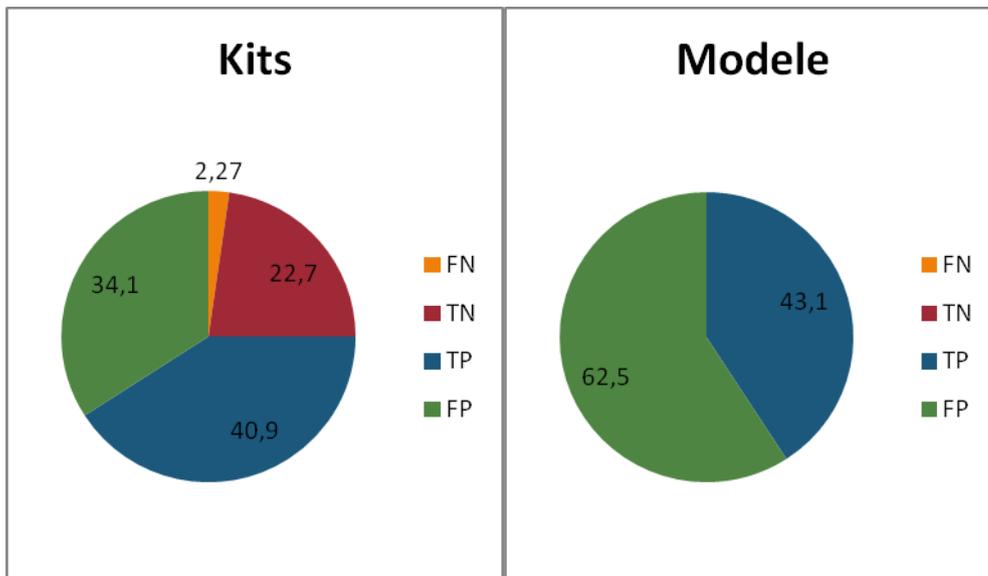


Figure 17 - Répartition des prédictions issues des kits pétales et du modèle selon leur nature.

IV – Discussion

A – Bilan de l'année 2012

Sur la centaine de parcelles initialement prévues pour suivre les contaminations au champ, seulement 89 ont été mises en place. Cela s'explique par des difficultés à obtenir le nombre de parcelles souhaitées auprès des techniciens des différentes coopératives, mais également par le refus de certains agriculteurs. Ces derniers ne souhaitent pas avoir de zone non traitée fongicide dans leur parcelle qui laisserait un potentiel infectieux dans la parcelle les années suivantes.

Les conditions météorologiques ont été très favorables à l'installation de la maladie avec des précipitations fréquentes et des températures fraîches. Cependant, les attaques ne se sont pas avérées être systématiquement nuisibles dans les parcelles présentant un risque sclérotinia moyen à fort. Cela peut s'expliquer par un climat plus sec en fin de culture qui limite la propagation de la maladie. De plus, une parcelle ne présentant pas d'excès de végétation, permet une bonne circulation de l'air et crée un microclimat moins favorable à la maladie.

La forte pluviométrie pendant la période de semis a perturbé la préparation du sol nécessaire à la mise en place de la culture (par exemple un labour et/ou un passage du

vibroculteur fait sur un sol pas suffisamment ressuyé). Cette mauvaise préparation du sol s'est ressentie sur la végétation avec des plants très petits et un faible recouvrement de l'espace inter-rang. Le microclimat de ces parcelles est très peu favorable à l'installation et à la propagation de la maladie. Ces parcelles ont donc du être écartées lors de la détermination de l'indice pathologique pour lequel l'attaque est nuisible pour ne pas fausser les résultats.

D'autres parcelles n'ont pas pu être exploitées pour la détermination des différents seuils à cause de données manquantes. Les dates de semis étant très regroupées, les récoltes l'ont également été. Les notations des dégâts à la récolte n'ont pas pu être faites. Quelques récoltes ont du être anticipées à cause d'une trop forte pression du pathogène sans que le technicien m'en avertisse. Dans ce cas, l'attaque a juste été évaluée de manière subjective et caractérisée de faible, moyenne ou forte.

Les variables utilisées pour comparer la végétation des parcelles au stade floraison n'ont pas toute la même fiabilité. Comparé à la densité et à la hauteur des plants, la valeur du pourcentage de recouvrement est la mesure la moins fiable. Elle est plus susceptible de varier fortement dans les quelques jours qui suivent la date de début floraison. Il est possible que certaines parcelles ayant un faible recouvrement à ce stade se soient rattrapées par la suite. Cependant, vu le nombre de parcelles suivies et leur localisation il aurait été difficile de réaliser toutes les mesures à la date début floraison + 3-4 jours.

B – Contaminations réelles et contaminations théoriques

Des biais sont à prévoir dans les pourcentages de fleurs infectées fournis par le modèle et la lecture des kits.

Certaines dates d'irrigation fournies par les agriculteurs ne sont pas fiables, cela peut induire des contaminations théoriques erronées. Le modèle fournira à cette date un taux de contamination inférieur à ce qu'il aurait estimé en temps normal, les variations d'humidité sont moins importantes, moins d'ascospores sont relâchées. De plus, quelques jours après, on observe une augmentation du taux de contamination théorique, un sol humide étant favorable à la germination des apothécies, le taux d'ascospores pouvant infecter les pétales augmente. Le modèle donne alors des contaminations plus élevées.

Les kits pétales réalisés au champ peuvent aussi être erronés et indiquer un taux de contamination inférieur à la réalité s'ils ont été effectués après une forte pluie ou juste après une irrigation. L'intensité de la pluie peut lessiver les pétales collés à la plante. Pour une intensité de la pluie supérieure à 20 mm/h, les pétales collés sur les feuilles sont lessivés (Varrailon, 2012). Si une forte pluie peut lessiver les pétales des feuilles, il est a priori possible qu'elle puisse également lessiver les ascospores présentes sur les pétales.

C – Fiabilité des kits pétales

Les kits pétales sont un indicateur fiable du risque d'attaque de la culture de haricot par *S. sclerotiorum*. Pour un seuil d'intervention fixé à 30 % de pétales contaminés, les recommandations des kits se sont avérées juste dans plus de 63 % des cas. La décision de ne pas traiter alors qu'un traitement s'avérait nécessaire n'a lieu que dans moins de 3 % des cas. Ce seuil d'intervention peut encore être affiné lorsque la totalité des données 2012 seront disponibles. L'évaluation des dégâts à la récolte manque sur une trentaine de parcelles.

Cependant, prélever les pétales au champ prend du temps. De plus, le délai nécessaire à la lecture des kits pétales (4 à 5 jours) ne permet pas de positionner le traitement au meilleur moment. Ces 4 à 5 jours de retard dans le positionnement du traitement laisse le temps au

pathogène d'infecter les pétales et les tiges. Si la surface du pétale a été continuellement humide pendant au moins 48h, l'infection est possible sous 24h (Maheu, 1999). C'est pourquoi il est intéressant d'avoir un modèle agro-climatique nécessitant peu de données et le plus fiable possible afin d'optimiser la lutte chimique.

D – Fiabilité du modèle

Si l'on devait positionner un traitement fongicide en préventif à l'aide du modèle, les recommandations se seraient avérées juste dans environ 43 % des cas. Aussi, on ne recense aucun cas où le modèle recommande de ne pas traiter alors qu'il aurait été nécessaire d'appliquer un fongicide (contamination théorique des pétales inférieure à 30% et indice pathologique supérieur à 40 %). Cela revient à dire que le modèle recommande systématiquement l'application d'un fongicide à l'utilisateur. Or, traiter systématiquement n'est pas envisageable dans un contexte de réduction de l'usage des pesticides et de durabilité des matières actives. Le modèle a tendance à surestimer les contaminations réelles des pétales, le pourcentage de faux positifs étant égal à 62,5 %.

De plus, le modèle surestime également les contaminations des pétales pour les parcelles présentant un fort risque de sclérotiniose. Il serait intéressant de diminuer la quantité d'inoculum présent dans les 5 premiers centimètres du sol qui est paramétrée dans le modèle. Puis, il faudrait réévaluer le nombre de faux positifs (le modèle recommande un traitement qui n'est pas nécessaire) et de faux négatifs (le modèle recommande de ne pas traiter alors qu'il s'avérerait nécessaire de le faire) avec cette nouvelle valeur.

Le modèle est sensé s'appliquer en complément de la grille Hasclérix pour les parcelles présentant un risque de sclérotiniose moyen à fort. Pour ces parcelles, il serait intéressant de pouvoir positionner au mieux le second traitement fongicide et de dire si un troisième traitement est nécessaire, et si oui quand le positionner. Dans ce type de parcelle, l'application du premier traitement en début de floraison est systématique, elle permet d'obtenir le meilleur contrôle de la maladie (Abawi *et al.*, 1979, UNILET, 2011). Paramétré tel quel, le modèle recommanderait systématiquement un deuxième traitement à l'utilisateur à partir du moment où le premier fongicide appliqué ne serait plus efficace, de même pour l'application du troisième traitement.

Pour que le modèle puisse bien positionner le second traitement ainsi que justifier et positionner le troisième, une solution serait de pondérer la quantité d'inoculum paramétrée initialement dans le modèle en fonction du nombre de cultures sensibles présentes sur la parcelle dans les 5 ou 10 dernières années et en fonction de la dernière attaque de sclerotinia recensée à l'aide d'un facteur de risque .

Pour le modèle SkleroPro, Koch (2007) pondère la valeur seuil du nombre d'heures propices à l'infestation en fonction de la durée de la rotation entre deux colzas. Si l'agriculteur revient avec un colza tous les 2 ans ou moins, cette valeur est pondérée par un facteur 0,8. Si l'agriculteur revient avec un colza tous les 4 ans ou plus, cette valeur est pondérée par un facteur 1,3. Koch a montré que la fréquence des colzas dans la rotation avait le plus d'impact sur l'incidence de la maladie. Le nombre de plants par m² et la quantité d'azote apportée par hectare n'avaient aucun impact sur l'incidence de la maladie. Ceci peut s'expliquer par le fait que les parcelles testées n'ont pas toute une quantité importante d'inoculum présent dans le sol. Une parcelle présentant une faible quantité d'inoculum dans le sol ne développera pas systématiquement la maladie même si le microclimat semble pourtant être favorable (nombre important de plants au m² et fort pourcentage de recouvrement).

La quantité d'inoculum pourrait aussi être pondérée selon la fréquence d'application d'un Contans WG[®] sur la parcelle. *Conyothorium minitans* diminue de manière significative l'inoculum de *S. sclerotiorum* (Zeng *et al.*, 2012). Chitrampalam (2008) a démontré qu'une seule application de Contans à la plantation permet de diminuer significativement la sévérité des symptômes de *S. sclerotiorum* observés sur toutes les variétés de laitues. Une pondération par un facteur inférieur à 1 de la quantité d'inoculum pourrait être faite lorsqu'un Contans a été réalisé après ou avant chaque culture sensible de l'historique parcellaire. Les producteurs mentionnent un effet visible de la réduction de l'impact de la maladie lorsque le risque de sclérotiniose est fort.

Concernant les types de sol paramétrés, le modèle pourrait être plus précis. A ce jour, l'utilisateur a le choix entre 3 types (argileux, limoneux et sableux). Mila (2008) a démontré que l'humidité est un facteur vital pour la germination carpogénique. Un léger stress osmotique peut inhiber la formation d'apothécies. Les variations de potentiel hydrique entre un sol purement sableux et un sol sablo-limoneux ne sont clairement pas les mêmes, un sol sableux retenant moins bien l'eau qu'un sol limoneux (Figure 18). Le taux de matière organique n'est également pas pris en compte. Pourtant un sol avec un taux de matière organique important retiendra mieux l'eau qu'un sol pour lequel cette teneur est faible. Le modèle pourrait être réévalué après avoir affiné les types de sol.

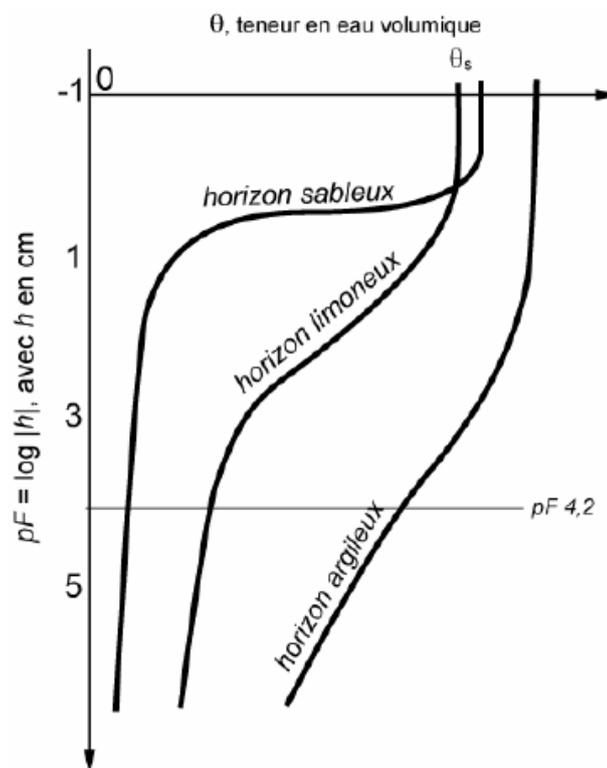


Figure 18 – Caractéristiques de rétention en eau d'un sol sableux, d'un sol limoneux et d'un sol argileux. *Source : Les sols et le cycle de l'eau, Bruand A.*

Certaines hypothèses à partir desquelles le modèle a été construit peuvent être remises en cause. Premièrement, il se base uniquement sur les contaminations aériennes via les ascospores. Il écarte totalement le risque des contaminations mycéliennes. Or au champ, il arrive que les premiers symptômes d'infection de *S. sclerotiorum* sur haricot soient observés avant l'apparition et la chute des premiers pétales. Ces infections peuvent être liées à des

spores ayant germées sur des tissus nécrosés, ou peuvent être des attaques de mycélium. De plus, Dhliwayo (2008) évoque des contaminations mycéliennes sur des tissus sains.

Cependant, dans la bibliographie aucune étude n'évalue l'impact des contaminations mycéliennes en plein champ. La majorité des informations obtenues concernant la germination mycélienne provient d'expériences en conditions contrôlées. Il serait intéressant de pouvoir évaluer la part de ces contaminations dans l'incidence de la maladie. Les fongicides n'ayant qu'un effet préventif, ils ne pourront empêcher le développement de la maladie dans ces foyers 'précoces'.

Une autre question se pose quant à la capacité des 2 autres espèces de sclerotinia (*S. minor* et *S. trifoliorum*) à infecter le haricot. *S. trifoliorum* attaque principalement la luzerne et les Fabacées fourragères et *S. minor* attaque principalement la laitue et l'arachide.

S. minor infecte ses hôtes essentiellement par voie mycélienne alors que les contaminations par *S. trifoliorum* se font via les ascospores. Les travaux de Raynal (1987) ont montré de grandes similitudes entre *S. trifoliorum* et *S. sclerotiorum* en ce qui concerne le déterminisme de la formation des apothécies. Cependant, *S. trifoliorum* différencie ces apothécies exclusivement à l'automne, lorsque les températures sont plus froides (optimum à 15°C). A priori, il ne peut donc pas s'attaquer au haricot.

De même, la température optimale à la germination mycélienne des sclérotés de *S. minor* est de 15°C pour un potentiel hydrique de -0,03 MPa (Wu *et al.*, 2003). Cependant toutes ces études ont également été réalisées en conditions contrôlées, on ne peut donc pas totalement exclure que ces 2 pathogènes soient capables d'infecter le haricot.

Une autre solution serait de partir sur un modèle agro-climatique ne simulant pas les lâchers d'ascospores mais les périodes propices à la maladie. En simulant les lâchers d'ascospores, on cherche à modéliser un phénomène complexe.

Dans la littérature, on observe des différences entre études sur l'intervalle de températures permettant la production d'apothécies. Certaines mentionnent une production d'apothécies lorsque les températures sont comprises entre 10 et 20°C, d'autres entre 7 et 25°C voir moins (Garg *et al.*, 2010). Ces différences observées peuvent s'expliquer par l'origine différente des isolats de *S. sclerotiorum* et par la différence concernant la température à laquelle les sclérotés ont été formés (Garg *et al.*, 2010).

Koch (2007) a également testé une fonction prédictive du développement des apothécies à l'aide de la température du sol, l'humidité du sol et de la température de l'air sur 28 parcelles. Ce modèle s'est avéré peu précis avec seulement 23% de prédictions justes. La date d'émergence des apothécies varie de 1 à 23 jours par rapport à la date prédite. Alors qu'en cherchant simplement à modéliser les heures propices à l'infection à l'aide des données agro-climatiques, 70 % des recommandations du modèle se sont avérées justes (test sur 76 parcelles), 24 % l'ont surestimé la maladie et 6 % l'ont sous estimé.

Foster (2011) a développé un modèle agro-climatique sur carotte basé sur un indice qui regroupe 3 variables auxquelles on attribue des points risques. Le calcul des points risques commence lorsqu'on a atteint un pourcentage de recouvrement égal à 95 %. Lorsque l'indice prend une valeur supérieure à 44, le nombre d'ascospores détectées dans la parcelle est important et susceptible de déclencher la maladie. L'application d'un fongicide est recommandée par le modèle lorsque cette valeur est atteinte. Les applications de fongicides selon le modèle ont réussi à prévenir la maladie de la même manière que les applications

faites selon le calendrier traditionnel (4 applications sont faites, la première est faite lorsqu'on atteint 95 % de recouvrement puis une application toutes les 2 semaines). Dans le meilleur des cas, le modèle a permis de réduire de 80 % le nombre d'applications fongicides.

V – Conclusion

L'objectif d'un modèle est de permettre à l'utilisateur de suivre la progression du risque maladie, d'optimiser le positionnement des interventions et de raisonner la fréquence d'application des fongicides dans le but de réduire l'usage des pesticides.

Le réseau de parcelles mis en place en 2012 devait permettre de valider les courbes simulant les lâchers d'ascospores et de disposer d'un jeu de données relativement important afin d'optimiser le paramétrage du modèle.

Les contaminations théoriques des pétales sont significativement différentes des contaminations des 'kits pétales'. Les kits pétales permettent d'estimer les contaminations réelles au champ. Mais ils ne sont pas un indicateur prédictif de l'indice pathologique final. L'indice pathologique permet de caractériser les dégâts liés à *S. sclerotiorum* à la récolte.

Pour estimer la fiabilité des kits pétales dans une optique de raisonnement de la lutte chimique, il faut déterminer un seuil de pétales contaminés à partir duquel l'attaque à une forte probabilité d'être nuisible. Le modèle suggère le traitement à l'utilisateur à partir de ce seuil.

Dans la littérature, le pourcentage d'attaque à partir duquel on observe des pertes de rendement n'est pas mentionné pour la culture du haricot. Il a donc fallu déterminer ce seuil d'attaque avant de fixer un seuil de contamination des pétales pour déclencher l'application.

A l'aide des courbes ROC, ce pourcentage d'attaque, représenté par l'indice pathologique, a été fixé à 40 %. Pour déterminer le seuil d'intervention, le nombre de faux négatifs (le kit pétale suggère de ne pas traiter et les dégâts sont supérieurs au seuil de nuisibilité) a été représenté pour tous les pourcentages d'infestation possibles. Si l'on accepte 5 % d'erreur dans les prévisions des kits, ce seuil est fixé à 30 % de pétales contaminés.

Pour ce seuil d'intervention, la fiabilité du modèle a été évaluée. Le modèle ne permet pas de raisonner la lutte chimique puisqu'il suggère systématiquement le traitement à l'utilisateur. Il n'est pas fonctionnel dans une optique de limitation de l'usage des pesticides et de leur durabilité.

Cependant, des pistes d'amélioration sont envisageables. Le modèle surestime les contaminations dans les parcelles où le risque de maladie est fort. Il pourrait être réévalué avec une nouvelle valeur d'inoculum présent dans la parcelle. De plus, cette valeur pourrait être pondérée selon les précédents culturaux et le nombre de Contans. Le type de sol pourrait également être affiné, d'autant plus que l'humidité joue un rôle important dans la germination carpogénique (Mila *et al.*, 2008).

Si modéliser les lâchers d'ascospores s'avère trop compliqué et trop imprécis dans la prévision des risques de la maladie, le jeu de données collecté en 2012 peut servir à mettre au point un modèle agro-climatique basé sur des points risques selon les conditions

météorologiques, les conditions du sol, les précédents culturaux, l'application de Contans et la végétation de la culture...

Le pourcentage de pétales contaminés n'étant pas prédictif de l'indice pathologique final, il serait intéressant, dans une seconde étape, d'intégrer le devenir de ces pétales. Des expériences sont en cours pour essayer de comprendre le rôle joué par les pétales collés aux feuilles et à la tige sur le potentiel d'attaque de la culture.

Bibliographie

- ABAWI G. S., HUNTER J., 1979. White Mold of Beans. New York Food and Life Sciences Bulletin. http://vegetablemdonline.ppath.cornell.edu/factsheets/Beans_WhiteMold.htm (consulté le 19/03/2012).
- BRISSON N. & al., 1998. STICS : a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomy* 18, pp 311-346.
- CHITRAMPALAM P., FIGULI P.J., MATHERON M.E., SUBBARAO K.V., PRYOR B.M., 2008. Biocontrol of Lettuce Drop Caused by *Sclerotinia sclerotiorum* and *S. minor* in desert Agroecosystems. *Plant Disease*, n°92, pp 1625-1634.
- CHITRAMPALAM P., TURINI T.A., MATHERON M.E., PRYOR B.M., 2010. Effect of Sclerotium Density and Irrigation on Disease Incidence and on Efficacy of *Coniothyrium minitans* in Suppressing Lettuce Drop Caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Disease*, Vol. 94, pp. 1118-1124.
- CLARKSON J.P., STAVELEY J., PHELPS K., YOUNG C.S., WHIPPS J. M., 2003. Ascospore release and survival in *Sclerotinia sclerotiorum*. *Mycological research*, 107 (2), pp 213-222.
- COLLIN F., 2011. La lutte biologique contre *Sclerotinia sclerotiorum* : combattre le champignon avant l'apparition de la maladie. *Bulletin semences*, N° 217, pp 33-35.
- DHLIWAYO T., 2008. Alternative products in the inhibition of the plant pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* on potato production. *Degree of Masters of Technology in Agriculture at the Nelson Mandela Metropolitan University*, 93 p.
- FOSTER A.J., KORA C., MCDONALD M. R., BOLAND G. J., 2011. Development and validation of a disease forecast model for *Sclerotinia* rot of carrot. *Canadian Journal of Plant Pathology*, Vol. 33 (2), pp. 187-201.
- GARG H., SIVASITHAMPARAM K., BARBETTI M., 2010. Scarification and Environmental Factors that Enhance Carpogenic Germination of Sclerotia of *Sclerotia sclerotiorum*. *Plant Disease*, Vol. 94, pp. 1041-1047.
- HARIKRISHNAN R., DEL RÍO L.E., 2006. Influence of Temperature, Relative Humidity, Ascospore Concentration, and Length of Drying of Colonized Dry Bean Flowers on White Mold Development. *Plant Disease*, Vol. 90, pp. 946-950.
- KOCH S., DUNKER S., KLEINHENZ B., RÖHRIG M., VON TIEDEMANN A., 2007. A crop loss-related forecasting model for sclerotinia stem rot in winter oilseed rape. *Phytopathology* 97, pp 1186-1194.
- KOHN L.M., 1979. A monographic revision of the genus *Sclerotinia*, *Mycotaxon* 9, pp 365-444.
- MAHEU L., 1999. Effets des pratiques culturales sur la survie et la fructification carpogénique des sclérotés de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, l'agent pathogène de la

sclérotiniose du soya. *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de maître ès sciences*. Décembre 1999.

MILA A.L., CARRIQUIRY A.L., YANG X. B., 2003. Logistic Regression Modeling of Prevalence of Soybean Sclerotinia Stem Rot in the North-Central Region of the United States. *Phytopathology*, Vol. 94, pp. 102-110

MILA A.L., YANG X.B., 2008. Effects of Fluctuating Soil Temperature and Water Potential on Sclerotia Germination and Apothecial Production of *Sclerotia sclerotiorum*. *Plant Disease*, Vol. 92, pp. 78-82.

PASCUAL A., CAMPA A., PÉREZ-VEGA E., GIRALDÉZ, R., MIKLAS, P., FERREIRA, J.J., 2010. Screening Common Bean for Resistance to four *Sclerotinia sclerotioru* Isolates Collected in Northern Spain. *Plant Disease*, Vol. 94, pp 885-890.

PENAUD A., MESTRIES E., WAGNER D., CACERES F., SIMONIN P., MERRIEN A., TAVERNE M., DUPEUBLE F., RUCK L., 2006. Evaluation d'un outil d'aide à la décision pour mieux raisonner les traitements contre la sclérotiniose du colza. In : AFFP-3^{ème} conférence internationale sur les moyens alternatifs de protection des cultures, Lille, 13-14-15 mars 2006, pp 511-517.

PENAUD A., 2009. Les *Sclerotinia* des cultures, quelles différences, quels points communs ? Belchim : Symposium Constans® WG, 25 février 2009

RAYNAL G., 1987. Facteurs agissant sur la formation des apothécies de *Sclerotinia trifoliorum* Eriks.en conditions controlées. *Agronomie* 7 (9), pp 715-725.

SAHARAN G.S., MEHTA N., 2008. *Sclerotinia* Diseases of Crop Plants: Biology, Ecology and Disease Management. Springer, 485 p.

TU J.C., 1997. An integrated control of white mold (*Sclerotinia sclerotiorum*) of beans, with emphasis on recent advances in biological control. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, Vol. 38, pp 73-76.

UNILET, 2008. Sclérotiniose du haricot, mise au point d'une grille de risque en Bretagne. *UNILET Infos N°130*, pp 16-17.

UNILET, 2011. Les légumes en conserve et surgelés en 2011, bilan économique. p 6, 10.

VARRAILLON T., 2012. Influence of simulated rainfalls with 'Rain tower' on the falling, sticking and leaching flowers on bean leaves. SYNGENTA AGRO, pp 1-4.

VIEIRA R.F., PAULA JÚNIOR T.J., TEIXEIRA H., de S. CARNEIRO J.E., 2010. White Mold Management in Common Bean by Increasing Within-Row Distance Between Plants. *Plant Disease*, Vol. 94, pp. 361-367.

WU B.M., SUBBARAO K.V., 2003, Effects of irrigation and tillage on temporal and spatial dynamics of *Sclerotinia minor* sclerotia and lettuce drop incidence, *Phytopathology* 93, pp 1572-1580.

WU B.M., SUBBARAO K.V., 2008. Effects of Soil Temperature, Moisture, and Burial Depth on Carpogenic Germination of *Sclerotinia sclerotiorum* and *S. minor*. *Phytopathology*, Vol. 98, pp. 1144-1152.

WU B.M., SUBBARAO K.V., LIU Y. B., 2008. Comparative Survival of Sclerotia of *Sclerotinia minor* and *S. sclerotiorum*. *Phytopathology*, Vol. 98, pp 659-665.

ZENG W., WANG D., KIRK W., HAO J., 2012. Use of *Coniothyrium minutans* and other microorganisms for reducing *Sclerotinia sclerotiorum*. *Biological Control*, Vol 60, Issue 2, February 2012, pp 225-232.

Sitographie

Fao stat : <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Données générales sur la production mondiale de haricot, dernière consultation avril 2012.

<http://histgeo.ac-aix-marseille.fr>. Fond de carte pour la représentation des parcelles suivies, dernière consultation le 13/09/2012.

Annexe I

Bilan sclérotiniose 2009 sur haricots et flageolets, enquête nationale réalisée par l'UNILET auprès des organisations de producteurs :

COÛTS* (milliers d'€)	HARICOT	FLAGEOLET	TOTAL
Abandons	232	117	349
Récoltes anticipées	827	224	1 051
Surcoût fongicide	1 992	798	2 790
Coûts usines	560	53	613
TOTAUX	3 611	1 192	4 803

* Hors dépréciations commerciales

Annexe II



Symptômes de *S. sclerotiorum* sur un plant classé B. *Source personnelle*



Symptômes de *S. sclerotiorum* sur un plant classé C. *Source personnelle*.

Annexe III



Symptômes de *S. sclerotiorum* sur un plant classé D. *Source personnelle*

Annexe IV



Zone non traitée ravagée par le sclérotinia. *Source personnelle.*

Annexe V

Questionnaire agriculteur

Validation du modèle Sclérotinia sur haricot



En cas de questions, contacter :

HASCOËT Camille, stagiaire UNILET

Tél UNILET: 02-98-39-33-24 / Fax : 02-98-39-30-00

Mail : hascote@yahoo.fr

UNILET, 6, rue Jean Marie Le Gall-BP 35 29393 Quimperlé

Destinataires :
Agriculteurs

Coordonnées agriculteur

NOM : Prénom :

Tél :

Mail :

Adresse parcelle :

Questions

- 1) Analyse de sol récente : oui non.....
- 2) Nom/lieu-dit de la parcelle :
- 3) Code postal :
- 4) Date de semis :
- 5) Variété et type de haricot :.....
- 6) Type de sol :
- 7) Ecart inter-rang :
- 8) Rotation : (voir au dos)
- 9) Historique contamination Sclérotinia dans la parcelle (voir au dos) :

- 10) Application de CONTANS sur la parcelle ? oui.....non.....
- 11) Si oui : Dose.....Nombre d'applications.....
Année(s) d'application.....
- 12) Avez-vous déjà rencontré des problèmes de *Sclerotinia* sur votre exploitation ?
- 13) Sur quelles cultures avez-vous déjà rencontré du *Sclerotinia* ?.....
- 14) Délai habituel entre les traitements fongicides:
- 15) Utilisation de mouillant et lequel : oui non.....
- 16) La parcelle est-elle irriguée ? Oui Non

Si oui, noter les dates d'irrigations et la quantité d'eau apportée dans le tableau ci-dessous :

Date de l'apport	Quantité apportée en mm

Cultures et intercultures	Etat de la parcelle/présence de <i>Sclerotinia</i> ? et niveau d'infestation
2012 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2011 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2010 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2009 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2008 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2007 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2006 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2005 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2004 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2003 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort
2002 Culture : Interculture :	Présence de <i>Sclerotinia</i> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui sur quelle(s) culture(s) ?..... Niveau d'infestation <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort

Annexe VI

Itinéraire technique de la culture de haricot et flageolet (*P. vulgaris*)

Cycle de culture

P. vulgaris est une légumineuse à cycle court. Pour le haricot mangetout la durée du cycle est comprise entre 60 et 80 jours contre 80 à 110 jours pour le flageolet. En Bretagne, la période de semis s'étale de mi-mai à mi-juillet. On évitera des semis trop tardif pour le flageolet dont le cycle de culture est plus long. La récolte se fait de mi-juillet à mi-octobre. Le haricot peut être implanté en dérobé après un ray-gras, des pois de conserve précoces, de jeunes carottes ou d'épinard. En Vendée, où des semis plus tardifs sont possibles, il est possible de faire une double culture haricot/haricot. Le rendement national moyen est compris est d'environ 12 T/ha pour le haricot et 6T/ha pour le flageolet.

Implantation de la culture

Le pH du sol doit être compris entre 6 et 7,5 afin de ne pas bloquer l'alimentation minérale. Le sol doit être drainant avec une bonne réserve hydrique, le haricot étant gourmand en eau. L'implantation nécessite un labour afin de permettre un bon enracinement des racines dans le sol. Si le haricot est fait en deuxième culture, un labour profond est conseillé pour diluer les résidus d'herbicides qui peuvent être toxiques pour la plante. Un passage de herse ou vibroculteur doit être réalisé ensuite pour obtenir un lit de semences assez fin. Généralement, les haricots sont semés avec un inter-rang de 37,5cm à 50cm. Eviter d'implanter le haricot après des pois protéagineux (risques de maladie de pied *T. basicola* et *F. solani*), après des cultures sensibles au sclérotinia (au maximum 3 par périodes de 10 ans). La rotation conseillée est de 5 à 7 ans entre 2 haricots.

Fertilisation

Les besoins du haricot sont d'environ :

- 160 kg/ha en azote
- 40 kg/ha de phosphate
- 160 kg/ha de potasse

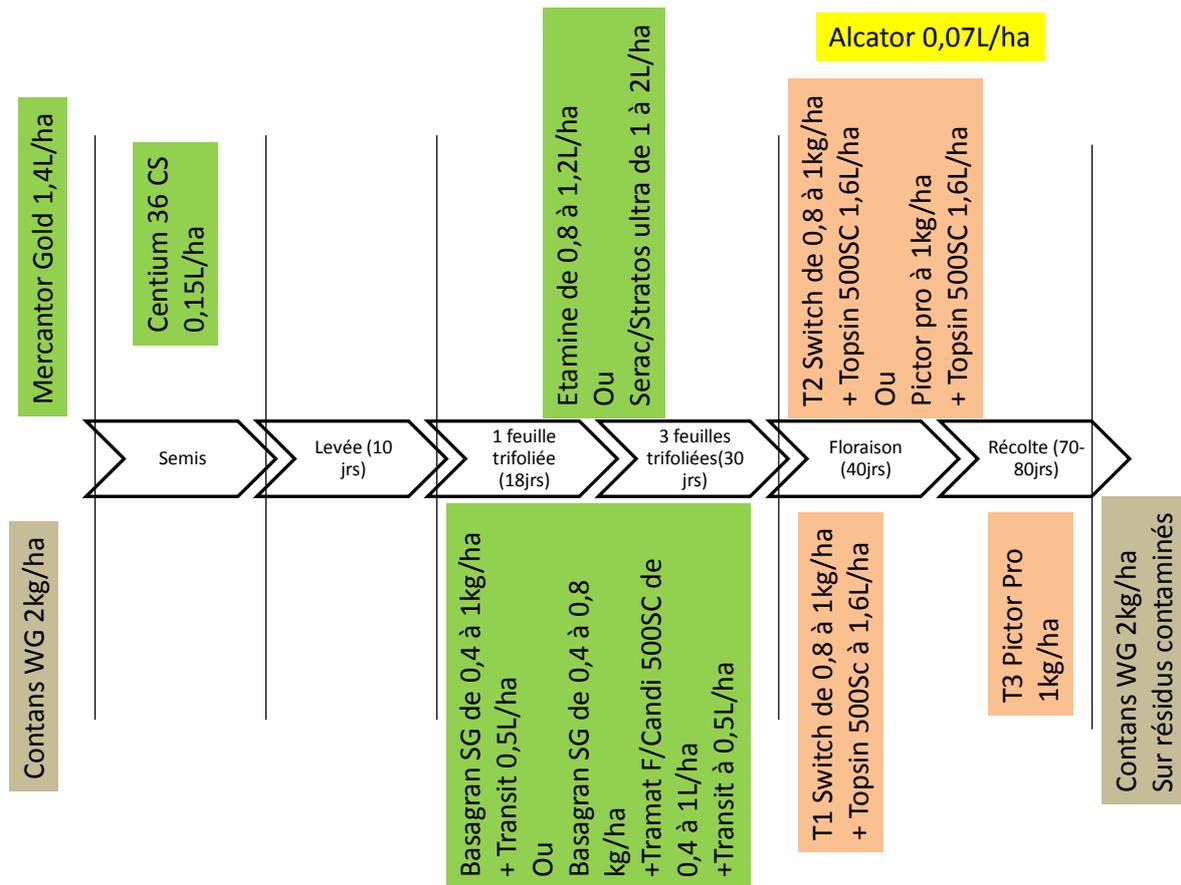
Ces besoins sont plus importants pour le flageolet où le cycle de culture va jusqu'à l'alimentation des grains.

- 195 kg/ha en azote
- 60 kg/ha de phosphate
- 195 kg/ha de potasse

Irrigation

Le haricot est sensible au stress hydrique à la levée et à partir de la floraison jusqu'à la récolte. Les besoins en eau de la culture sont de 180 à 250 mm pour le haricot et de 220 à 290mm pour le flageolet. Cependant les excès d'eau sont à éviter d'un point de vue sanitaire (sclérotinia, botrytis). Les cultures fragilisées par les parasites racinaires doivent être irriguées plus fréquemment car elles sont plus sensibles au stress hydrique.

La protection phytosanitaire



Légende

En gris : la lutte biologique contre le sclérotinia

En vert : les herbicides

En jaune : les insecticides

En orange : les fongicides

N.B. L'usage du Pictor Pro et d'Alcator n'est pas homologué sur flageolet

Source : Fiche technique haricots, CECAB ; Guide de protection des cultures légumières d'industrie 2012, UNILET.