



SYNTHÈSE DES RECHERCHES CONDUITES DEPUIS 1994 SUR LES DÉPÉRISSEMENTS DES LAVANDES ET LAVANDINS



Cédric YVIN
Station Sud-Est - Domaine de La Vesc
26740 MONTBOUCHER SUR JABRON
tél. 04 75 91 81 46

Juin 2010

Sommaire

LES RECHERCHES ANTERIEURES A 1994.....	3
LE PROGRAMME COORDONNÉ DE RECHERCHES DE 1994 À 2004.....	4
Axe 1 : Typologie des symptômes.....	4
Axe 2 : Recherches pathologiques.....	6
Implication de champignons dans le dépérissement.....	6
Implication de virus et de bactéries dans le dépérissement.....	7
Implication de phytoplasmes dans le dépérissement.....	8
Axe 3 : Rôle du plant.....	12
Axe 4 : Rôle du sol.....	15
Axe 5 : Facteurs favorisants.....	16
Axe 6 : Fongicides.....	16
LE PROGRAMME DE RECHERCHE FINANCÉ PAR LE CASDAR DE 2007 À 2010.....	18
Axe 1 : Amélioration du diagnostic pour la certification des plants.....	18
Axe 2 : Étiologie et épidémiologie du dépérissement bactérien.....	18
Axe 3 : Caractérisation du phénomène de tolérance de la lavande et du lavandin au dépérissement et recherche d'outils d'appui à la création variétale.....	19
Caractérisation du phénomène de tolérance de la lavande et du lavandin au dépérissement :.....	19
Évaluation de la diversité génétique intraspécifique pour la recherche d'allèles d'intérêt corrélés à la tolérance au dépérissement :.....	20
Recherche d'un test précoce de sensibilité aux phytoplasmes du matériel végétal en cours de sélection variétale :.....	20
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES : LA MISE EN PLACE D'UN NOUVEAU PROGRAMME DE RECHERCHE 2011-2013.....	21
BIBLIOGRAPHIE.....	23
ANNEXES.....	23

INTRODUCTION

Cette synthèse a pour objectif de **faire un bilan des connaissances acquises lors des recherches menées sur les dépérissements à partir de 1994**, date de la mise en place du Plan de Relance de la lavande. **Elle se veut complémentaire de celle réalisée par l'iteipmai en 1993**, et s'inscrit dans les réflexions menées actuellement autour de la mise en place d'un nouveau programme coordonné de recherches pour la période 2011-2013.

LES RECHERCHES ANTERIEURES A 1994 :

Cf. synthèse bibliographique réalisée par l'iteipmai en septembre 1993, très complète sur le sujet et disponible auprès de l'iteipmai.

Cette synthèse met l'accent sur **l'emploi très large et aléatoire du terme « dépérissement »** qui « de façon générale [est] utilisé, au moins dans un premier temps, pour masquer une ignorance de la cause initiale » (R. Cassini, 1993). Ainsi le terme de « dépérissement » s'applique très largement à « **un état des plants ou une culture conduisant à une baisse de leur longévité attendue** » et les premiers dépérissements sur lavandes sont signalés dès 1920 (Bordas, 1932) ! Il est donc plus juste de parler des « dépérissements » en employant le pluriel, à la vue des multiples causes entraînant des mortalités de plants.

La nécessité de **réaliser une typologie fiable des symptômes de dépérissement** s'imposait en conclusion de cette synthèse, pour écarter les symptômes liés à des causes de dépérissement déjà connues (gel, cécidomyie, phytotoxicité d'herbicides, chloroses, ...) des symptômes liés à des causes inconnues.

Concernant les recherches sur les causes de dépérissement et les moyens de lutte associés, elles sont nombreuses et listées dans cette synthèse. Ainsi, malgré des conclusions positives au début des années 1970 sur un lien entre dépérissement et vection de mycoplasmes par des cicadelles, des publications contradictoires remettent en cause ces résultats les années suivantes, si bien **qu'aucune cause n'est clairement établie comme responsable de dépérissement, en 1993**.

LE PROGRAMME COORDONNÉ DE RECHERCHES DE 1994 À 2004 :

Pour faire face à un accroissement des mortalités des plants de lavandes depuis 1986 dans le secteur de Mévouillon, et s'étendant ensuite à toute la zone de production, les professionnels ont demandé la mise en place d'un programme de recherche coordonné. Ce programme multi-acteurs, coordonné par l'iteipmai, s'inscrivait dans le cadre du **Plan de Relance de la lavande**. Il proposait **d'explorer plus à fond l'hypothèse d'une origine pathologique aux dépérissements**, et était articulé autour de six axes, dont les résultats principaux sont les suivants :

Axe 1 : Typologie des symptômes

L'objectif était de réaliser **une typologie précise des symptômes de dépérissement** et de les relier aux causes déjà connues, et dans le même temps de mettre ainsi en évidence les symptômes d'origine inconnue.

Description des différents types de symptômes :

De 1993 à 1995, **un suivi périodique de 30 plants** (1 fois par mois en période de croissance) a été réalisé par les techniciens du GDA de Sault, du CDA de Forcalquier, de la Chambre d'Agriculture de la Drôme, du CRIEPPAM et de l'iteipmai, et ce dans 9 parcelles de lavande et de lavandin. Pour chacune d'entre elles, les 30 plants étaient choisis de la façon suivante : 10 plants symptomatiques, ainsi que 2 plants asymptomatiques à proximité de chacun d'entre eux, soit 20 plants asymptomatiques. **Ces suivis ont permis de définir les différents types de symptômes liés au dépérissement :**

- **Sain** : plante apparemment saine (sans symptôme visuel)
- **Chétif** : plante présentant des symptômes homogènes caractérisés par une végétation faible, peu marquée aux époques de démarrage de la végétation (avril et septembre). Les hampes florales sont courtes. Les feuilles âgées présentent des taches brunes plus particulièrement à l'apex. Ce type évolue plus ou moins lentement vers le type mixte et / ou une mort lente. Ce type peut se décliner en chétif tardif et chétif précoce. **C'est le symptôme le plus couramment rencontré.**
- **Mité** : plante présentant **un dessèchement sectoriel ou total brutal**, le reste de la végétation gardant un aspect normal. Les symptômes évoluent plus ou moins lentement ou n'évoluent pas. Attention à ne pas le confondre avec des dégâts de cécidomyie. Ce type est en pratique assez rare. Ce type était associé, au début du programme, à la présence de *Fusarium roseum*.
- **Mixte** : plante présentant les symptômes du type Chétif aggravé par la présence de branches mortes.
- **Grillé** : plante présentant des grillures de feuilles (dessèchements)
- **Mort** : plante morte

Remarque : Les auteurs distinguent aussi un type de symptôme non lié directement au dépérissement :

--**Apoplectique** : plante présentant un dessèchement brutal sectoriel ou total, pouvant survenir sur de jeunes plants Les hampes florales concernées par le dessèchement sont recourbées en crosse de façon caractéristique. Ce symptôme peu fréquent est relié (en 1994) à la présence de *Fusarium oxysporum* ou dû à une attaque tardive de cécidomyie.

Un schéma théorique d'évolution des plants dépérissants a ainsi pu être établi (Cf. Annexe 1).

Cependant, en fonction de la période de notation, de la localisation des symptômes, et du degré d'affaiblissement de la plante, on aura un type chétif, mixte ou grillé. Les auteurs s'accordent donc sur le fait qu'il n'est pas nécessaire de distinguer le type de symptôme (le mixte découle du chétif et le mité hors cécidomyie est très rare) lors de la notation, mais qu'il suffit d'attribuer une note de gravité de 0 à 5. Cette grille de notation (version 2009) est présentée en Annexe 2.

Les auteurs précisent aussi que, pour une même plante, **il est possible qu'une note de symptôme diminue dans le temps** : par exemple une plante notée 4-5 à l'automne (plant grillé) peut être notée 2-3 au printemps suivant (chétif mixte ayant redémarré au mois de juin).

Observations morphologiques et isolement mycologiques racinaires :

Les observations des racines (réalisées par l'INRA de Sophia-Antipolis) et les analyses mycologiques (réalisées par l'INRA de Versailles) ont mis en évidence sur certains types dépérissants **la présence d'un système racinaire plutôt plagiotrope** (à croissance horizontale), **présentant des racines brunies** sur lesquelles des champignons ont pu être isolés (*Cylindrocarpon sp.* notamment). Ces facteurs ne semblent toutefois pas prépondérants dans l'expression de la maladie.

Etude de la transmissibilité des symptômes à partir de plantes à symptômes typés :

Cet essai avait pour objectif d'étudier la transmissibilité des symptômes par voie végétative, pour vérifier l'hypothèse d'une maladie contagieuse, et **notamment l'importance de la contamination initiale par le champignon *Fusarium roseum***.

Des boutures herbacées prélevées sur des lavandes (population et clone bleue) présentant différents types de symptômes de dépérissement ont été mises à raciner au lycée horticole de Romans. Un indexage a permis de trier au préalable les nombreuses boutures contaminées par un champignon (*Fusarium roseum* suspecté). Les boutures racinées vivantes ont été plantées en zone dépérissante, avec séparation des différents types de symptôme d'origine, par de la Maillette.

Les résultats de cet essai suivi par le CRIEPPAM sont que **tous les types de symptômes sont concernés par le dépérissement**, même le type « sain ». Les types présentant le plus de symptômes de dépérissement sont les types : « sain », « chétif tardif » et « mixte » ; les types présentant le moins de symptômes sont les types « chétif précoce » et « mité ». **Cela prouve que la réalisation de boutures sur un pied-mère asymptomatique (et donc « sain » en apparence), ne garantit absolument pas la qualité sanitaire des boutures.** Il est difficile, voire impossible de retrouver les types de symptômes de départ. Par contre les symptômes évoluent de manière identique dans le temps entre les plants issus d'un même clone.

Cet essai a été abandonné en 1998, **car le programme a été recentré sur une hypothèse phytoplasme**, ce qui signifiait que les plants indexés pour *Fusarium roseum* n'étaient pas forcément sains à la plantation.

Evolution épidémiologique et distribution de la maladie dans les parcelles :

1000 individus (20 lignes X 50 pieds) ont été suivis par l'iteipmai et leurs symptômes de dépérissement notés de 1996 à 1998 sur deux parcelles de lavande (population issue de semis en pépinière chez M. BUSI, clonale issue de boutures ligneuses chez M. BARTHÉE) dès leur plantation.

Après trois ans de suivi, les études biométriques réalisées par MM. MONESTIEZ, CHADOEUF et REMOND de l'INRA d'Avignon ont montré **une fréquence d'expression préférentielle de la maladie sur la ligne, mais non entre les lignes**. Cela pourrait s'expliquer par une contamination de proche en proche par les larves de *Hyalesthes obsoletus*, après une contamination initiale externe. Cette dépendance sur la ligne a une portée d'environ 3 à 4 plantes (environ 80 cm) pour la parcelle clonale, mais est plus restreinte (voire non significative en 1998) pour la parcelle de population.

D'autre part, **la parcelle de lavande clonale exprime beaucoup plus de symptômes que celle issue de semis**, ce qui indique que les boutures étaient fortement contaminées à la plantation, car prise sur des pieds-mères eux-mêmes contaminés. **Là encore, cela confirme l'importance du matériel végétal de départ et argumente en faveur de l'utilisation de plants réellement sains.**

NB : Les chercheurs de l'INRA suggèrent, en 1998, que des données identiques soient recueillies sur des parcelles de plants sains, cette fois, ce qui pourrait servir à **la réalisation d'un modèle informatique expliquant la dynamique de propagation de la maladie au sein d'une parcelle de plants sains.**

Les notations se poursuivent jusqu'en 2000 sur la parcelle Barthée (retournée en 2001 car trop dépérissante) et jusqu'en 2004 sur la parcelle Busi où, après une relative stabilité des symptômes jusqu'en 2000, une aggravation est observée et ce jusqu'en 2004 (Cf. Annexes 3a et 3b).

Axe 2 : Recherches pathologiques

Implication de champignons dans le dépérissement :

Avant le démarrage de ce programme, l'implication de champignons pathogènes est suspectée par plusieurs experts dans les phénomènes de dépérissements.

Des essais de réinoculations réalisés par l'INRA de Romans avec différentes souches de *Fusarium roseum* (obtenues sur des plantes dépérissantes en parcelles), sur des plantes en pots (5 clones de lavandes + le clone de lavandin Abrial) ont montré **un pouvoir pathogène, parfois fort, de ces souches en conditions expérimentales**. Toutefois, **les résultats observés ne coïncident pas avec les observations en parcelles**, puisqu'il n'y a pas de différence de sensibilité entre les clones, alors qu'il y en a en champs.

En 1997, vu les résultats obtenus en parallèle sur les phytoplasmes, deux nouveaux essais ont été mis en place :

- Un essai d'inoculation de deux souches de *Fusarium roseum* (les plus discriminantes en 1996) à des plantes saines issues de semis et à des plantes contaminées par le Stolbur. Les objectifs étaient **d'étudier si des plantes de lavandes atteintes du Stolbur ont une réceptivité plus grande à *Fusarium roseum*, et s'il existe une synergie éventuelle entre ces deux pathogènes.**

Résultats : Cet essai **n'a pas permis de mettre en évidence de synergie entre les deux pathogènes**. Il n'est pas reconduit en 1999.

-Un essai d'inoculation d'une souche de *Fusarium roseum* à **des concentrations connues (ce qui manquait en 1996) et croissantes (10^4 à 10^7 spores/cm³) sur des microboutures in-vitro, considérées comme débarrassées de tout agent pathogène.**

Résultats : Un incident technique (arrêt de la climatisation et destruction des boutures par la trop forte chaleur) n'a pas permis d'exploiter cet essai. De même, il n'est pas reconduit en 1999.

Tous ces résultats ont ainsi écarté l'hypothèse d'une responsabilité primaire de champignons dans le dépérissement.

Implication de virus et de bactéries dans le dépérissement :

Les recherches de 1996 conduites par l'INRA de Montpellier n'ont pas permis de mettre en évidence de virus pouvant être transmis mécaniquement. Par contre, la bactérie *Pseudomonas syringae* a été isolée, mais n'a pas entraînée de symptômes lors d'essais de réinoculations de jeunes plants de lavande. Cette bactérie **ayant un pouvoir glaçogène**, il est suspecté qu'elle ait un rôle secondaire dans les mortalités de plants, en accentuant les dégâts causés par le gel.

En 1997, ces essais sont complétés par des recherches réalisées par l'INRA de Montpellier, sous microscopie électronique, des tests ELISA et des indexages biologiques. Les résultats ne permettent pas, là encore, de conclure à un rôle prépondérant de virus dans le dépérissement. **Des inclusions nucléaires** constituées d'une succession de sphérules ou de structures cristallines sont cependant détectées sur de nombreux échantillons. La présence d'une autre bactérie à pouvoir glaçogène est révélée : *Pseudomonas fluorescent*, mais à la fois sur plantes dépérissantes et sur plantes saines.

Les résultats de 1998 montrent que ces inclusions nucléaires ne sont observées, parmi les Labiées, que chez le genre *Lavandula*. Elles semblent donc être **un organite structurel particulier à ce genre, et sont présentes quel que soit l'état sanitaire de la plante (malade ou non)**. Les recherches sur les bactéries à pouvoir glaçogènes ne sont pas poursuivies.

Remarque : Des recherches de phytoplasmes dans les tissus conducteurs de plantes dépérissantes n'ont pas été concluantes non plus.

En 1999, l'INRA d'Avignon isole, sur lavandin, **un virus [non précisé, l'AMV ?] responsable de jaunissements de feuilles observés au printemps et à l'automne.**

En 2000, pour prouver la responsabilité **du virus AMV (virus de la mosaïque de la luzerne)** dans la typologie des symptômes de jaunissement, deux essais de reproduction des symptômes (sur Grosso et Maillette) sont mis en place par le CRIEPPAM, à partir de plants sains inoculés par l'AMV, et placés sous filets insect-proof afin d'éviter les contaminations naturelles d'AMV par des pucerons vecteurs. Ces essais ont permis de relier la présence du virus AMV (par des tests ELISA) à l'observation de jaunissements « jaune citron » des feuilles, et de **prouver la nuisibilité de ce virus sur le rendement en huile essentielle. Cependant, les symptômes causés par l'AMV sont différents des symptômes observés pour le dépérissement.**

Ces essais sont poursuivis jusqu'en 2001 et 2004 (pour l'essai n°2) et confirment la nuisibilité du virus de l'AMV sur le rendement en huile essentielle. Cependant, **des plantes peuvent être contaminées sans exprimer de symptômes**. D'autre part, les plants inoculés expriment des symptômes, **mais aucune mortalité de plants n'est apparue**.

En 2004, il semble se confirmer que la contamination de l'AMV dans les parcelles se fasse **essentiellement par bouturage de plants déjà contaminés**, et que les transmissions par des insectes vecteurs ou par voie mécanique ne soient pas significatives. **La mise en place d'une filière plants sains devra donc tenir compte de l'absence de virus AMV dans les plants certifiés**.

Conclusions : **Aucun virus, ni bactérie, ne semble impliqué directement dans les phénomènes de dépérissement**.

Implication de phytoplasmes dans le dépérissement :

NB : Un phytoplasme est une bactérie sans paroi, ce qui implique que c'est un parasite obligatoire (il ne peut pas vivre en-dehors de son hôte). Dans les végétaux, ils se développent dans les vaisseaux conducteurs de sève.

Dès 1995, l'INRA de Dijon met en évidence, par PCR (amplification gigogne), **la présence de phytoplasme du Stolbur dans quelques échantillons de lavandes et dans une cicadelle [espèce non précisée] provenant de la région de Mévouillon**.

Recherches de phytoplasmes dans les plantes et les insectes :

Ces résultats encourageants de l'INRA de Dijon sont confirmés en 1996, **par de nouvelles détection du phytoplasme du Stolbur dans des lavandes cultivées, des pépinières, des lavandes sauvages, et des adventices** (circés, calaminthes, laitues, germandrées, liserons, ...).

Il est mis en évidence l'importance de l'état végétatif des plantes prélevées pour obtenir une bonne détection du Stolbur : **les prélèvements doivent se faire à la reprise de la végétation, au printemps ou à l'automne**.

Parmi les multiples cicadelles capturées par l'iteipmai (972 lots) grâce à des pièges chromatiques collants installés dans trois parcelles de lavande (Ferrassières, Simiane et Mévouillon), **seul le cixiide *Hyalesthes obsoletus* s'est révélé porteur du Stolbur, et ce à hauteur de 9 %**. Le bilan des espèces capturées et déterminées en 1996 a été établi (Cf. Annexe 4a).

En 1997, trois phytoplasmes sont identifiés dans les plantes des parcelles dépérissantes suivies : **le Stolbur, phytoplasme dominant, l'EY (Jaunisse de l'Orme) et l'AY (Aster Yellow)**.

Dans les insectes collectés, trois types de phytoplasmes sont aussi identifiés : le Stolbur, l'AY et Phi (phyllodie du trèfle). Les captures d'insectes (2551 cicadelles piégées ou aspirées) confirment la liste établie en 1996.

En 1998, près de 4000 insectes ont été capturés par l'iteipmai, avec des captures centrées cette fois sur les espèces identifiées comme porteuses de phytoplasmes en 1997. Les tests PCR effectués par l'INRA de Dijon en 1998 confirment la présence de phytoplasmes chez toutes ces espèces **et montrent que *H. obsoletus* se démarque nettement des autres espèces par un effectif d'insectes capturés important, et par un pourcentage d'individus porteurs élevé (26 % du total des adultes de *H. obsoletus* testés, Cf. Annexe 4b)**.

Le cycle de cette cicadelle sur lavande est établi (Cf. Annexe 16) : 5 stades larvaires dans le sol, 11 mois sur 12, puis vol de l'adulte de début juillet à mi-août (vol 1997 à Ferrassières).

On observe des **chevauchements des différents stades larvaires à une date donnée (Cf. Annexe 17)**. Cependant, les stades larvaires L2 et L3 dominant en avril – mai, les L3 et L4 dominant à partir de juin. Des larves L5 peuvent apparaître dès début juin, puis les adultes fin juin - début juillet.

Détermination des périodes de contamination des plants :

En 1996, des séries successives de plantes appâts (pervenches, tabacs, daturas) ont été exposées par l'iteipmai pendant environ 1 mois pour chaque série, dans des parcelles de lavande en zone dépérissantes. Ces plantes ont exprimé des symptômes à partir de la série exposée de fin juin à début août, et **toutes les plantes symptomatiques se sont révélées porteuses du Stolbur**. Cette série de plantes appâts correspond à la période de vol présumée de *Hyalesthes obsoletus*. Les séries précédentes n'exprimaient pas de symptômes, par contre la série de plantes appâts exposée en septembre a présenté quelques plants symptomatiques et positif au Stolbur, **ce qui impliquerait que d'autres vecteurs du Stolbur existent. (Cf. Annexe 5)**.

En 1997, la longue période d'inoculation en champ des plantes appâts semble confirmer cette hypothèse.

En 1998, l'utilisation d'un nombre important **de plantes appâts sur une longue période de temps** n'a pas permis de mettre en évidence une vexion, alors que des insectes collectés se sont bien révélés porteurs de phytoplasmes. Les auteurs émettent donc **l'hypothèse de variations de pression en phytoplasmes d'une année sur l'autre**. Cela pourrait correspondre aux variations d'intensité des symptômes de dépérissement observés au champ d'une année sur l'autre, probablement en lien avec les variations des conditions climatiques.

Les auteurs insistent sur le fait que des insectes identifiés comme porteurs de phytoplasme ne sont pas forcément vecteurs ! En effet, le phytoplasme ingéré lors d'une ponction alimentaire dans un végétal infecté, se retrouve dans le tube digestif de l'insecte. Il devra ensuite **migrer vers les glandes salivaires pour que l'insecte devienne potentiellement vecteur**. Un délai de un mois peut s'écouler entre ces deux phases et **le test PCR ne peut faire la différence entre ces deux états de l'insecte**.

L'utilisation de plantes appât n'est pas poursuivie en 1999.

Reproduction des symptômes de dépérissement:

Des tests d'inoculations avec des insectes capturés en parcelle, dans le but de reproduire les symptômes observés au champ ont été réalisés par l'iteipmai sur des lavandes et pervenches saines. Les résultats de 1996 montrent que sur 25 plantes placées au contact d'insectes (essentiellement *H. obsoletus*), 8 plantes se sont révélées porteuses du Stolbur et 1 porteuse faible d'un phytoplasme de type jaunisse de l'orme.

Des essais de reproduction de symptômes par **hétérogreffage de lavandes et pervenches saines et porteuses du Stolbur** ont été mises en place également.

En 1997, un essai d'inoculation (HO97) est mis en place par l'iteipmai à la ferme expérimentale de la Chambre d'Agriculture de la Drôme, à Mévouillon, avec le fulgore *H. obsoletus* (Cf. Annexes 6 à 10). Ainsi l'exposition de plantes saines à cette cicadelle entraîne, en conditions contrôlées insect-proof, des

symptômes de dépérissement totalement comparables à ceux observés en parcelles, alors que les témoins sains non inoculés, et sous filets, restent en parfaite santé. **C'est un tournant dans ce programme de recherche : la vexion par *H. obsoletus* d'un agent pathogène responsable des symptômes de dépérissement est prouvé. *H. obsoletus* est le vecteur principal de cet agent pathogène. Le phytoplasme du Stolbur, détecté dans ce cixiide et dans les plantes inoculées et symptomatiques est un agent pathogène impliqué dans l'expression de la maladie.**

NB : Le Stolbur reste encore aujourd'hui le seul agent pathogène dont l'implication est prouvée dans l'expression de cette maladie.

En 1998, un nouvel essai de reproduction des symptômes par inoculations contrôlées a été mis en place par l'iteipmai, en privilégiant les insectes identifiés comme porteurs de phytoplasmes en 1997, et notamment, en plus de *H. obsoletus* (sous- essai HO98), *Cechenottetix quadrinotatus* (sous-essai CC98). (Cf. Annexes 11 à 14).

En 1999, **la différence de symptômes visuels entre plantes exposées à *H. obsoletus* et plantes témoins est hautement significative** (ANOVA) dans les deux essais, et plus encore dans l'essai de 1998.

Peu de données sont disponibles sur le sous-essai CC98, mais **la différence visuelle entre des plantes exposées à *Cechenottetix quadrinotatus* et plantes témoins ne semble pas significative.**

Des tests PCR réalisés par l'INRA de Dijon sur des plantes inoculées de l'essai 1998, ont permis de détecter le Stolbur dans 3 plantes sur 84 échantillons seulement : le premier correspondant à une plante inoculée par *H. obsoletus* et protégée, le second à une plante inoculée par *C. quadrinotatus* et non protégée, le troisième à une plante inoculée par *C. quadrinotatus* et protégée. **Cela prouve le rôle de vecteur pour ces deux insectes.**

Ces faibles taux de détection sont dus, à l'époque, à **des problèmes d'inhibiteurs de la PCR** (polyphénols, dont entre autres, l'acide rosmarinique), ce qui conduisait à beaucoup de **faux-négatifs** (échantillons réellement porteurs du Stolbur, mais sans détection de ce phytoplasme).

Les résultats des années 2000 et 2001 sur les deux essais HO97 et HO98 confirment les rôles de *H. obsoletus* et du Stolbur. Les symptômes de dépérissement continuent en effet de s'exprimer, dans les deux essais.

D'autre part, **des plants sains non inoculés, non couverts et mitoyens de plants fortement dépérissants, commencent à exprimer des symptômes dès 2000, avec un retard de 3 ans par rapport aux plants inoculés.** Cela pourrait s'expliquer par une contamination de proche en proche par les larves de *H. obsoletus* présentes sur les racines des plants dépérissants, mais aussi par des pontes d'adultes venant de l'environnement extérieur.

Un rapprochement de ces résultats peut être fait avec ceux de l'axe 1 montrant une fréquence d'apparition de symptômes préférentiellement sur le rang. **Cela confirme encore une fois l'intérêt de créer une filière de plants sains de lavande et de lavandin.**

Les essais d'inoculations HO97 et HO98 ont été suivis jusqu'en 2002, et les résultats successifs de ces années montrent une augmentation de l'incidence des symptômes de dépérissement sur tous les plants des deux essais, avec **une sévérité des symptômes toujours supérieure pour les plantes inoculées par *H.obsoletus*, comparée aux plantes non inoculées (Cf. Annexe 10).**

Test de diagnostic

Le test PCR utilisé par l'INRA de Dijon **ne semble révéler qu'une petite partie seulement des plantes positives**. Ces problèmes peuvent être dus à **la présence d'un inhibiteur dans les échantillons de plantes, à un mauvais échantillonnage sur les plantes, ou à une mauvaise conservation des échantillons** (effet de l'alcool à 70° pour la conservation des insectes).

Ainsi, en 1996 et 1997, la méthode PCR utilisée nécessitait une conservation des échantillons de plantes prélevées non plus à -20°C, mais à -80°C pour éviter des phénomènes d'oxydation.

En 1998, des recherches sur la mise au point **d'un test fiable de diagnostic de présence du Stolbur dans les plantes** est engagée (PCR ou ELISA) pour s'affranchir de la présence d'inhibiteurs qui entraînent **un fort taux de faux-négatifs** (taux variables selon le matériel végétal testé).

En 2000, des travaux sont conduits pour permettre **une extraction immédiate de l'ADN en laboratoire de campagne**, en comparaison avec les extractions différées, après envoi à l'INRA de Dijon. Cette méthode a permis de révéler plus de plants malades, mais **les résultats ne sont pas encore probants**. En 2001 et 2002, de nombreux tests ont été réalisés pour améliorer la détection de phytoplasmes par PCR, mais sans améliorations nettes.

Détection d'autres agents pathogènes

Par ailleurs, suite à une réunion du COST, **l'hypothèse d'un autre agent étiologique de type « bactérie du phloème » a été évoquée**. La présence de trois bactéries du phloème (Chlorose marginale du fraisier par amorces Fra4-Fra5, Yellow Vine des cucurbitacées par amorces YV1-YV3 et Greening par amorces O11-O12) a ainsi été recherchée par PCR, dans des échantillons de plantes présentant des symptômes, mais négatives en PCR avec les amorces P1P7/U5U3 pour le Stolbur. **Aucun échantillon ne s'est révélé positif après PCR, et ce avec aucune des paires d'amorces testées.**

La recherche d'agents pathogènes avec des amorces RISA a mis en évidence la présence de champignon *Cercospora sp.* Ce résultat restait toutefois à confirmer en 2002.

La recherche d'agents pathogènes avec 5 amorces RAPD, n'a elle, donnée aucun résultats positif.

En 2002, le Stolbur restait donc le seul agent pathogène impliqué dans le dépérissement.

Assainissement des plants

Des essais de **régénération par thermothérapie** fait par l'INRA de Dijon (destruction des phytoplasmes par la chaleur, technique utilisée notamment pour la vigne) ont échoué. Les lavandes s'avèrent en effet trop sensibles pour supporter les conditions de températures requises pour l'éradication complète et certains des phytoplasmes. Ces essais ne sont pas reconduits après 1999.

D'autre part, des tentatives de **régénération par cultures de méristèmes** effectuées par la société Anjou Jeunes Plants, ont obtenu plus de succès.

Essais de lutte contre les vecteurs

Traitements phytosanitaires des adultes

Un essai de **lutte par traitement insecticide sur adultes** a été mis en place en 1998 à Mévouillon (produits : Crésus et Klartan), mais n'a pas pu être exploité suite à de mauvaises conditions de traitement (conditions météorologiques).

Traitements phytosanitaires des larves

Un autre essai a été mis en place à Simiane la Rotonde, la même année, **en visant cette fois les larves**, avec le test de l'efficacité de deux insecticides : Curater (carbofuran) et Aztec (triazamate). Aucune différence significative n'est ressortie entre témoin non traité et l'un ou l'autre des produits, mais les auteurs mettent en garde sur les conclusions à tirer de cet essai qui présentait des parcelles élémentaires trop petites (1 m² chacune).

Les auteurs précisent qu'il serait utile de **tester dans un premier temps les matières actives directement sur des larves issues d'élevage**. Cela soulève la difficulté de réaliser un élevage de cette cicadelle dont les larves sont dans le sol, sur les racines des plantes. **Seule une tentative a été fructueuse, effectuée par René Sforza, lors de sa thèse sur le bois noir de la vigne**. Il a réussi à obtenir deux générations par an grâce à des conditions contrôlées et obtenu un nombre modeste d'adultes (de 50 à 100 par génération). Cependant, **cet élevage pourrait largement être perfectionné et produire plus d'adultes** (communication personnelle de M. Sforza), tout au moins suffisamment pour réaliser certaines expérimentations.

Axe 3 : Rôle du plant

Il a rapidement été constaté que **le plant pouvait transmettre la maladie**. **Différents itinéraires de production de plants sains ont alors été testés**, contre les champignons et les phytoplasmes.

Itinéraires semences désinfectées et plants protégés par un fongicide :

En 1995, deux essais ont été mis en place par le CRIEPPAM et la Chambre d'Agriculture de la Drôme pour pouvoir **comparer des plants de pépinière obtenus selon différents itinéraires** (désinfection ou pas des semences, désinfection ou pas de la pépinière, protection fongicide ou pas des plants), **des plants en minimottes, et une modalité de semis direct**. Malgré les difficultés techniques, notamment pour la modalité

semis direct, les résultats obtenus montrent que **la désinfection des semences (Monam) et la protection fongicide (Libéro) ne sont pas suffisantes pour se prémunir de l'apparition de symptômes de dépérissement**. Fin 1997 ces essais sont arrêtés et il devient évident que ces itinéraires doivent aussi protéger les plants contre les autres pathogènes (virus ou phytoplasmes).

NB : Une comparaison (sans répétitions, et avec très peu de plants) de l'enracinement entre des plants de lavande issus de semis direct et des plants issus de micropropagation in vitro, a été réalisée en 1995, à l'aide d'un rhizotron, par le lycée horticole de Romans. **Ces observations montrent une croissance plus rapide des racines des plantes issus de semis comparé à ceux issus d'in vitro**, avec des racines descendants à plus de 60 cm de profondeur deux mois après la mise en place dans le rhizotron. Les auteurs soulignent **l'intérêt de ce type de système racinaire dans la résistance aux conditions de sécheresse**.

Mise au point d'un itinéraire de semis direct :

Les différents essais conduits entre 1995 et 1997 par le CRIEPPAM, le GDA de Sault, l'iteipmai, et le lycée horticole de Romans ont permis de **mettre au point un itinéraire de semis direct de graines de lavande**.

Cela a pu se faire grâce à **l'optimisation des paramètres suivants** :

- Désinfection des graines de lavande à l'eau de Javel.
- Mise au point de la technique de levée de dormance grâce à l'acide gibbérellique (GA3).
- Meilleure maîtrise de la profondeur, de la densité et des dates de semis.

Intérêt du semis direct vis-à-vis du dépérissement :

Dans un essai du GDA de Sault de 1995, **la modalité « semis direct » est moins affectée par le dépérissement que celle « plantée »**, mais le rendement en huile essentielle est inférieur du fait d'une forte concurrence entre plants liée à une densité de plants trop forte, elle même liée à une difficulté de maîtriser la densité de semis.

Cette différence de sensibilité ne s'est pas retrouvée dans un essai du CRIEPPAM en 1996-1997, mais par contre il est montré, **une meilleure productivité de la modalité « semis direct » par rapport aux modalités « plantées »**, due certainement à une densité de semis plus adaptée.

Cette moindre sensibilité au dépérissement des plants issus de semis direct par rapport à des boutures plantées est aujourd'hui acquise, et s'explique certainement par une différence d'enracinement entre ces deux techniques, **seuls les plants issus de semis ayant un puissant pivot racinaire**.

Mise en place de pépinières de plants sains :

En 1997, la faisabilité technique d'une pépinière de plants sains est démontrée par un essai du CRIEPPAM, sous condition d'assurer une bonne qualité et régularité de l'irrigation durant la phase de semis et de levée.

En 1998, **8 pépinières de plants sains issus de semis** sous tunnel insect-proof et sur sol désinfecté au Basamid (avec semences désinfectées à l'eau de Javel et traitées à l'acide gibbérellique) ont été implantées. Les résultats ont été satisfaisants et ont permis **d'initier la rédaction du cahier des charges de production de**

plants sains certifiés ainsi que la mise en place de la filière plants sains. La mise en place de cette filière fera l'objet de l'axe n°8 intitulé « sélection sanitaire » et mis en place dès 1999.

Suivi d'un foyer de recontamination:

Une parcelle de plants sains a été implantée à la ferme expérimentale de la Chambre d'Agriculture de la Drôme, à Mévouillon au printemps 1999. **Au centre de cette parcelle, 20 lavandes très dépérissantes ont été implantées pour constituer un foyer de contamination** [on ne sait pas si des larves étaient présentes sur les racines de ces plantes]. 1150 plants (10 rangs de 115 plants) encadrant ce foyer, ont été notés individuellement jusqu'en 2005 par l'iteipmai, et les résultats transmis pour analyse à l'INRA d'Avignon (Biométrie). Les résultats sont les suivants :

- Les 20 plantes dépérissantes du foyer de contamination sont toutes mortes à la fin de l'année 2000, et n'auront été présentes au milieu de la parcelle de plants sains que 2 ans.
- Les symptômes de dépérissement, après une évolution lente en 2000, ont progressé continuellement sur l'ensemble de la parcelle, avec **une forte progression des mortalités en 2004, suite aux conditions climatiques difficiles** (sécheresse 2003, canicule 2004). **Les notations de symptômes sont de plus en plus difficiles dans le temps**, liées à la dégradation générale de la parcelle.
- **La recontamination la plus forte se fait de proche en proche, sur le rang.**
- **La répartition des nouveaux plants symptomatiques ne semble pas suivre de règle stricte**, et si le foyer initial reste bien visible, **des foyers secondaires de contamination apparaissent**, liés certainement à des contaminations extérieures à la parcelle (arrivée d'insectes vecteurs). **Il n'y a donc pas d'évolution géographique simple des symptômes suivant un gradient de proche en proche** (suivant, par exemple, des cercles concentriques) (Cf. Annexe 15).

Suivi de parcelles de plants sains :

Six puis sept (après intégration de la parcelle de l'essai foyer de recontamination) parcelles de 1000 plants sains de lavande, plantés entre 1998 et 2000 ont été suivies par le CRIEPPAM, la Chambre d'Agriculture de la Drôme et l'iteipmai. Les notations de dépérissement se sont poursuivies pendant 5 ans (jusqu'à 2004 pour quatre parcelles) pour disposer de suffisamment de données pour étudier la dynamique d'évolution de la maladie.

Les données des deux parcelles suivies par l'iteipmai (à Vers sur Méouge) ont été transmises à l'INRA d'Avignon pour analyses biométriques. Il ressort de ces analyses:

- Une dépendance spatiale entre états sanitaires : **seuls les plus proches voisins d'une plante dépérissante se trouvent soumis à une influence significative de cette plante** (en accord avec les résultats de l'essai « foyer de recontamination »).
- Le fait que l'on ne retrouve pas visuellement de développement préférentiel de nouveaux foyers en fonction des bordures.

-De grandes différences d'intensité des symptômes entre les deux parcelles de Vers sur Méouge (Vers Haut et Vers Bas), la parcelle du bas, présentant beaucoup moins de dépérissement (probablement lié à un effet sol, ou à un moindre stress hydrique). **Les mortalités de plants ont progressées de façon spectaculaire en 2004, dans la parcelle du haut**, certainement liées aux épisodes climatiques difficiles de 2003 (canicule et sécheresse).

Dans les parcelles suivies par l'iteipmai, et ce jusqu'en 2005, **les mortalités de plantes progressent d'année en année, mais ne sont pas dues uniquement au phytoplasme**. Des problèmes climatiques (gel, canicule 2003, sécheresse 2004), agronomiques (phytotoxicité d'herbicides, dégâts de cécidomyies) sont aussi à incriminer et les auteurs expliquent **qu'il est très difficile de différencier visuellement les mortalités dues au phytoplasme, des mortalités inhérentes aux conditions météorologiques, agronomiques, ou aux pratiques culturales**.

Enfin, le suivi de toutes ces parcelles aura permis de mieux comprendre l'évolution du dépérissement à l'échelle de la parcelle, et de **démontrer l'existence d'une contamination forte sur le rang, de proche en proche**. Ces suivis de parcelles ont aussi démontré **l'intérêt des plants sains pour retarder l'apparition du dépérissement et son développement**.

Étude de l'intérêt de la mycorhization de pépinière de semis :

En 1999, un essai a été mis en place par le CRIEPPAM sur sa station expérimentale, **pour comparer deux modalités de mycorhization du sol de pépinière** : un mélange de trois *Glomus sp.*, et une souche de *Fusarium sp.* saprophyte non pathogène (F047). Aucune différence n'a été observée en 2000 et les auteurs se demandent si l'arrachage du plant à son substrat en vue de la plantation, ne le prive pas définitivement d'une bonne partie de l'acquis mycorhizien, en laissant dans le sol de la pépinière, la quasi-totalité du mycélium. Cet essai n'a pas été poursuivi en 2001.

Étude de l'intérêt de la mycorhization de plants sains à la plantation :

Un essai a été mis en place par l'iteipmai en 1999 à la ferme expérimentale de la Chambre d'Agriculture de la Drôme à Mévouillon avec des plants sains de lavande mycorhizés lors de la plantation. Après deux ans de notations, aucune différence visuelle n'est notée entre les modalités « mycorhizé » et « témoin non mycorhizé ». **La mycorhization à la plantation ne semble donc pas améliorer l'état sanitaire des plants**. Cet essai n'est plus suivi après 2001.

Axe 4 : Rôle du sol

Cet axe devait permettre de déterminer si le sol jouait un rôle dans l'apparition du dépérissement (facteurs biologiques, physiques, nutritionnels, toxiques).

Un essai dit de « fatigue de sol » a été conduit par le laboratoire de la FREDEC de la région Centre et a porté sur l'étude de six couples de terres « fatiguées » (issues de parcelles présentant des symptômes de dépérissement) et « non fatiguées » (issues de parcelles non dépérisantes). **Aucun facteur unique favorisant le dépérissement (micro-organisme, toxicité, carences, manque de matière organique) n'a été décelé en 1995**.

En 1996, les résultats d'un essai « longue durée » portant sur des plantes en pot cultivées pendant 18 mois sous serre, dans des terres « fatiguées » et « non fatiguées » aboutit aux mêmes conclusions. **Le sol n'a donc pas une importance majeure dans l'apparition de phénomènes de dépérissements.** Cet axe est arrêté en 1996.

Axe 5 : Facteurs favorisants

Une enquête de terrain, portant sur les itinéraires techniques, le sol, les variétés..., a été réalisée en 1995 **sur 216 parcelles de lavande** par le GDA de Sault, le CDA de Forcalquier, le CRIEPPAM, les Chambres d'Agriculture de la Drôme et du Vaucluse et l'iteipmai. Les analyses effectuées (AFCM) **n'ont pas permis de faire ressortir un facteur ou des conditions particulières favorisant, de manière importante, l'apparition du dépérissement.**

Une étude cartographique des dépérissements de la lavande a ainsi pu être établie dans la région de Ferrassières/Sault/Simiane/Revest du Bion. 10 cartes ont été réalisées pour croiser l'intensité du dépérissement avec diverses variables. **Les conclusions sont identiques à celles de l'enquête de terrain.**

En 1996, l'iteipmai, en partenariat avec le GDA de Sault et les coopératives France Lavande et SCA3P, a poursuivi cette enquête **spécifiquement sur l'impact des traitements phytosanitaires (insecticides anti-cécidomyies et herbicides) dans le dépérissement.** Seuls les traitements contre la cécidomyie effectués au diazinon apparaissent corrélés à une intensité de dépérissement moins importante. Cependant les auteurs signalent **la difficulté de distinguer des symptômes de cécidomyies de symptômes de dépérissements par simple observation visuelle non destructive** (notamment pour le type mité). La relation diazinon / intensité de dépérissement moins importante pourrait donc être liée uniquement à une diminution des symptômes de cécidomyie, et donc à une notation moindre du dépérissement (par confusion avec les dégâts de cécidomyie). Cet axe est arrêté fin 1996.

Axe 6 : Fongicides

Cet axe avait pour but d'évaluer l'intérêt de moyens de lutte fongicide sur le dépérissement et de mettre en évidence, indirectement, la responsabilité éventuelle de champignons pathogènes.

En 1993, un essai dit « Adret – Ubac » a été mis en place par la Chambre d'Agriculture de la Drôme à la ferme expérimentale de Mévouillon. Cet essai comprenait deux parcelles, une à l'Ubac (exposition Nord), une à l'adret (exposition Sud), avec chacune deux clones : Col de Riouze (réputé tolérant) et Charance (réputé sensible). L'efficacité de deux fongicides (Libéro et Alliette) y a été testée.

Cet essai a démontré statistiquement **une différence de sensibilité au dépérissement entre les deux clones** (Charance étant beaucoup atteint que Col de Riouze). Cela montre l'intérêt de la mise en place **d'un programme de sélection variétale.**

Les résultats de 1995 et 1996 montrent que **l'utilisation de fongicides n'améliore pas sensiblement l'état sanitaire des parcelles.**

D'autre part, **l'effet exposition n'est pas significatif vis-à-vis des symptômes de dépérissement** (l'adret n'est pas plus attaqué que l'ubac).

Cet essai conclut sur le fait que les champignons pathogènes ne jouent pas un rôle important dans le dépérissement, ce qui est en accord avec les résultats de l'axe 2. Cet axe est arrêté fin 1996.

Conclusions du programme de recherche 1994-2004:

Les essais de réinoculations HO97 et HO98 sont deux preuves indéniables du rôle prépondérant de *H. obsoletus* dans la vection d'un agent pathogène responsable de l'apparition des symptômes de dépérissement (et ce même si le postulat de Koch n'a pas été complètement vérifié, ce qui nécessiterait de mettre des lavandes saines en présence de *H. obsoletus* dont on a contrôlé l'acquisition du phytoplasme, et donc de maîtriser l'élevage en cage de cette cicadelle, ce qui n'est toujours pas aisé actuellement).

A défaut de la vérification complète du postulat de Koch, et de la détection d'éventuel autre agent pathogène dans les plantes symptomatiques, **le phytoplasme du Stolbur est l'agent pathogène qui est considéré comme responsable du dépérissement.**

Cechenottetix quadrinotatus est aussi un vecteur du Stolbur pour les lavandes, mais son importance est mineure par rapport à celle de *H. obsoletus*.

L'intensité du dépérissement des plants est très variable d'une année à l'autre et est liée aux conditions climatiques. Des épisodes difficiles comme les sécheresses ou les canicules sont des épisodes qui engendrent l'année suivante une forte augmentation de l'incidence du dépérissement dans les parcelles déjà touchées. Cela pourrait s'expliquer par un cumul entre les stress climatiques subis par les plantes et une hausse des populations d'insectes vecteurs engendrée par des températures plus élevées.

Le rôle crucial du plant dans la transmission de la maladie implique de **mettre en place une filière de plants sains certifiés** et d'améliorer la fiabilité du test PCR de diagnostic de contamination des plants par le Stolbur.

La lutte directe contre *H. obsoletus*, se heurte à de grandes difficultés techniques (présence des abeilles pendant le vol des adultes, et larves dans le sol pendant 11 mois sur 12).

De grandes différences de sensibilité variétales face au dépérissement sont observées ce qui implique de mettre en place **un programme de sélection de variétés de lavande et de lavandin tolérantes**. Ce programme de sélection s'est mis en place, parallèlement à la poursuite de ces recherches sur le dépérissement et **des variétés de lavande de population tolérantes au dépérissement sont ainsi créées : Rapido et Carla** (plus une nouvelle variété en cours de création, Sara, qui devrait avoir des caractères de tolérance à la sécheresse).

De même, un programme de création de clones de lavandin tolérants au dépérissement est initié, **à partir de la constitution de lavandins triploïdes** (issus du croisement entre des lavandins tétraploïdes, rendus fertiles par doublement chromosomique à la colchicine, et des lavandes fines). Ce programme de sélection est toujours en cours : à partir d'environ 400 lavandins triploïdes de 1^{ère} génération (base non Grosso) créés et évalués, **les 6 meilleurs clones sont actuellement en phase de pré-développement chez des producteurs.**

Les triploïdes de 2^{nde} génération (base Grosso) ont été évalués sur leur productivité en huile essentielle, et sont **actuellement en cours de tri du point de vue de leur tolérance aux dépérissements.**

LE PROGRAMME DE RECHERCHE FINANCÉ PAR LE CASDAR DE 2007 À 2010

Ce programme a pour organisme chef de file le CIHEF et est coordonné par le CRIEPPAM.

Il s'articule autour de trois axes, dont les résultats acquis en juin 2010 sont présentés ici.

Axe 1 : Amélioration du diagnostic pour la certification des plants

Cet axe, sous la responsabilité de l'INRA d'Avignon, a permis la transposition et la validation du test de détection du phytoplasme du Stolbur par PCR temps réel avec technologie Taqman (fluorescence), mis au point sur la vigne, aux lavandes et lavandins. **Ce test est désormais fiable** (en effectuant 3 prélèvements minimum à 3 endroits différents d'une plante) et ce **y compris sur des prélèvements effectués directement sur des plantes en parcelles**. Il donne aussi **une information quantitative sur la charge en Stolbur détectée**. La discrimination de la positivité ou non au Stolbur d'un échantillon se base sur le nombre de cycles d'amplification PCR (Ct) nécessaire pour atteindre le seuil fixé de détection d'un gène propre au Stolbur :

Ct < 37 → échantillon positif au Stolbur

37 < Ct < 42 → échantillon douteux

Ct > 42 → échantillon négatif au Stolbur

Des travaux censés améliorer encore la répétabilité de ce test sont en cours sur l'année 2010.

Le suivi en 2008 et 2009 de pépinières de la filière plants sains et de la filière traditionnelle, avec des tests PCR d'échantillons prélevés, a permis de **confirmer que les plants sains produits sous filet insect-proof sont indemnes de phytoplasmes**. Ce n'est pas le cas de certains plants traditionnels qui se sont révélés positifs au test. Il en va de même pour certains plants sains de Grosso, non protégés sous filets insect-proof, ce qui a conduit à recommander une couverture des boutures de plants sains de cette variété dans les zones les plus touchées par le dépérissement.

Axe 2 : Étiologie et épidémiologie du dépérissement bactérien

Dès l'automne 2007, une vingtaine de parcelles (lavandes et lavandins) ont été suivies sur l'ensemble de la zone de production, avec des prélèvements de 19 plantes (15 sans symptômes et 4 avec symptômes) et une notation de 1000 plantes sur leurs symptômes de dépérissement, et ce, deux fois par an, au printemps et à l'automne. L'INRA de Bordeaux a coordonné ces suivis et les résultats ont confirmé l'épidémie de Stolbur dans les lavanderaies.

Suivant les périodes de prélèvement, **la corrélation symptômes visuels/détection du phytoplasme varie de 26 % à 55% seulement**, avec une détection du phytoplasme **meilleure à l'automne qu'au printemps**.

De plus, 14 nouveaux génotypes de phytoplasme du Stolbur, inféodés aux lavanderaies du Sud-Est de la France ont été découverts. **Ce grand nombre de génotypes de Stolbur sur lavande et lavandin indique que cette maladie est présente depuis longtemps dans ces cultures et que la diversification de cet agent**

pathogène s'est faite sur lavandes et lavandins (cultivées ou sauvages) et non sur d'autres plantes hôtes du vecteur et du Stolbur (orties et liseron).

Au sein de ces 17 génotypes, **3 sont majoritaires** dans les lavanderaies échantillonnées (Cf. Annexe 18). D'autre part, **une parcelle dépérissante peut héberger plusieurs génotypes de Stolbur** (Cf. Annexe 19), mais il n'a jamais été détecté plus d'un génotype hébergé dans une même plante.

La répartition de ces 17 génotypes n'est pas la même dans les plantes et les *H. obsoletus* testés (Cf. Annexe 20), ce qui indique que **des génotypes sont plus « circulants » que d'autres** (par exemple le génotype S17, très fréquent, semble vecté par les insectes, à l'inverse du génotype S14, très peu détecté dans les insectes, qui semble essentiellement transmis par bouturage de plants infectés).

Quelques captures d'insectes pratiquées à l'été 2009 semblent confirmer que ***H. obsoletus* est beaucoup plus présent sur les lavandes de population que sur les lavandes clonales et les lavandins.**

Afin d'expliquer pourquoi seulement 55% au maximum des plantes symptomatiques prélevées ressortent positives pour le Stolbur au test PCR, **la recherche d'un second agent pathogène est réalisée à nouveau** (de type protéobactérie du phloème), mais aucun candidat solide n'est détecté pour le moment.

Une autre explication pourrait résider dans des causes de mortalités autres que le Stolbur, comme des causes climatiques (sécheresse, gel), agronomique (mauvais enracinement), ou pathologiques (cécidomyie). **Ces causes pouvant biaiser la notation stricte de symptômes de dépérissement à Stolbur.**

Axe 3 : Caractérisation du phénomène de tolérance de la lavande et du lavandin au dépérissement et recherche d'outils d'appui à la création variétale

Cet axe se décompose en trois actions :

Caractérisation du phénomène de tolérance de la lavande et du lavandin au dépérissement :

Ces recherches conduites par M^{me} Eveillard de l'INRA de Bordeaux ont permis de quantifier précisément la charge en phytoplasme présent dans des plantes prélevées. Il a ainsi été déterminé **qu'il n'y avait pas de corrélation entre la sévérité des symptômes et la charge en Stolbur. De même il n'y a pas de corrélation entre variétés sensibles/tolérantes et charge en Stolbur, et ce pour les lavandes comme pour les lavandins.**

Ces résultats sont à confirmer en 2010, mais ils tendent à montrer que **le phénomène de tolérance des plantes ne semble pas intervenir une fois la plante infectée, mais avant l'infection.** Dans ce cas la relation plante/vecteur jouerait certainement un rôle majeur dans le phénomène de tolérance.

Il a d'autre part été prouvé que **des plantes asymptomatiques pouvaient être porteuses de phytoplasmes en grand nombre** et être donc un réservoir pour l'expansion de la maladie.

Par ailleurs, des recherches sont actuellement en **cours sur la dérégulation de gènes candidats**, et qui pourraient être impliqués dans les phénomènes de sensibilité/tolérance au dépérissement.

De même, en 2010, des travaux sur **la cinétique d'expression des symptômes de dépérissement** seront conduits afin de déterminer si un lien éventuel existe entre sensibilité/tolérance des variétés et charge en Stolbur/vitesse d'expression des symptômes.

Évaluation de la diversité génétique intraspécifique pour la recherche d'allèles d'intérêt corrélés à la tolérance au dépérissement :

Cette action, placée sous la responsabilité du LBVPAM de l'Université de St-Étienne a permis **d'étudier la diversité génétique existante au sein de l'espèce *Lavandula angustifolia***, et ce pour des plantes sauvages et cultivées.

Les résultats actuels ont ainsi montré que Rapido et Carla sont des lavandes de populations qui présentent toutes deux une forte diversité génétique. **Cette diversité génétique est statistiquement identique à celle des populations de lavandes sauvages** et à celle des populations cultivées, mais elle est significativement supérieure à celle des lavandes clonales Maillette et Matheronne.

A partir de toutes ces données recueillies sur les lavandes fines, des analyses sont en cours afin de déterminer **d'éventuels liens entre la diversité morpho-anatomique de ces lavandes et la tolérance/sensibilité au dépérissement.**

Une collaboration avec l'IMEP de Marseille est proposée fin 2009 par le LBVPAM pour **rechercher des individus tolérants à la sécheresse** parmi la collection de lavandes fines issues des prospections du CNPMAI.

Recherche d'un test précoce de sensibilité aux phytoplasmes du matériel végétal en cours de sélection variétale :

Cette action, sous la responsabilité de l'iteipmai, avait pour objectif de déterminer si un dosage de l'acide rosmarinique dans les plants pouvait constituer un test précoce de sensibilité de ces mêmes plants au dépérissement, et par conséquent permettre de gagner du temps dans les schémas de sélection de variétés tolérantes. Cette action se basait sur des résultats obtenus sur organ¹.

Les résultats obtenus en 2009 montrent **une absence de corrélation entre la production d'acide rosmarinique (ou de composés phénoliques) et l'importance des symptômes de dépérissement.** Ces molécules ne semblent donc pas intervenir dans les mécanismes de tolérance des lavandes et lavandins face au phytoplasme du Stolbur.

Cette action est donc arrêtée en 2009 et sera remplacée par **des essais de suivi de population de *H. obsoletus* afin d'améliorer les connaissances sur le cycle biologique de cet insecte vecteur.** Ces essais seront conduits en 2010 en partenariat avec le CRIEPPAM et la FREDON PACA.

¹ Shetty K. 2001. Biosynthesis and medical applications of rosmarinic acid. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants. 8 (2/3), 161-184

Conclusion des résultats 2008 et 2009 de ce programme de recherche :

Ce programme a permis de mettre au point un test de diagnostic fiable, d'améliorer les connaissances sur l'épidémiologie de la maladie, et d'initier des travaux de recherches sur les aspects génétiques de la tolérance/sensibilité des plantes au dépérissement.

L'année 2010 devrait apporter, elle-aussi, des résultats complémentaires sur tous ces thèmes de recherche.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES : LA MISE EN PLACE D'UN NOUVEAU PROGRAMME DE RECHERCHE 2011-2013

Toutes ces recherches ont permis de grandes avancées dans la compréhension des phénomènes responsables de dépérissement.

Il existe un dépérissement dû au phytoplasme du Stolbur, lui-même transmis principalement par le cixiide *H. obsoletus*. Quand on parle de dépérissement, il convient désormais de parler de « dépérissement à phytoplasme » pour le différencier des autres causes de mortalités.

***H. obsoletus* est, de loin, l'insecte le plus porteur du phytoplasme du Stolbur dans les lavanderaies, et les essais d'inoculations de 1997 et 1998 ont prouvés qu'il est le principal vecteur de ce phytoplasme, (*C. quadrinotatus* peut l'être aussi, mais dans une bien moindre mesure).**

La période de contamination de plantes appât exposées est plus grande que la période de vol du vecteur *H. obsoletus*, ce qui implique **la présence d'autres insectes vecteurs minoritaires du Stolbur** (comme *C. quadrinotatus*), dont certains restent probablement à identifier.

Des solutions prophylactiques (variétés tolérantes, plants sains, conseils culturaux) ont été apportées aux producteurs grâce à ces programmes de recherches. Cependant, **les dépérissements de plants sont toujours d'actualité**, et ce plus fortement pour la lavande que pour le lavandin, probablement pour des raisons variées : pression en insecte vecteur probablement plus élevée, plus grande sensibilité aux stress climatiques, ...

Dans l'attente de nouvelles variétés encore plus tolérantes que Rapido et Carla, la diminution de l'inoculum en *H.obsoletus* par des méthodes de lutte indirectes ou directes s'avère plus que nécessaire dans les secteurs géographiques les plus dépérissants. Les résultats des recherches précédentes font ainsi apparaître le manque crucial de données sur les relations plantes/vecteurs.

Enfin, **la tolérance de la lavande au dépérissement à phytoplasme n'est toujours pas expliquée**, d'un point de vue génétique, comme d'un point de vue relation plante/vecteur.

Parmi les nombreuses questions concernant cette maladie et toujours sans réponses actuellement, en voici une liste non exhaustive :

Test de diagnostic :

- Est-il nécessaire de poursuivre les recherches pour améliorer la répétabilité du test de détection du Stolbur ?

Vection de la maladie :

- Y a-t-il une implication **significative** d'autres vecteurs que *H. obsoletus* dans le dépérissement à Stolbur ?
- Y a-t-il une implication **significative** d'autres agents pathogènes que le phytoplasme du Stolbur ?

Cycle biologique de *H. obsoletus* :

- Peut-on préciser le cycle de *H. obsoletus* dans le temps et dans l'espace, et ce sur l'ensemble de la zone de production lavande/lavandin ?
- Peut-on adapter à la lavande le modèle allemand (Maixner) de prédiction des sorties des adultes de *H. obsoletus* ?
- Peut-on préciser la dispersion de *H. obsoletus* dans une parcelle de plants sains ?
- Comment améliorer la productivité d'un élevage de *H. obsoletus* ?

Méthodes de lutte contre *H. obsoletus* :

- Quelles méthodes de lutte directes, utilisables par les producteurs et respectueuses des abeilles, peut-on mettre en place contre *H. obsoletus* (adultes et larves) ? En agriculture conventionnelle ? En agriculture biologique ?
- Quel intérêt peut présenter la technique du greffage vis-à-vis du dépérissement ?

Tolérance au dépérissement à Stolbur :

- La tolérance au dépérissement est-elle liée au comportement de l'insecte vecteur, plus qu'à une défense active des plantes ? Si oui, y a-t-il des molécules odorantes volatiles intervenant dans des phénomènes d'attraction/répulsion entre les variétés et les vecteurs ?

Distinction des différentes causes de mortalités :

- Peut-on améliorer la distinction entre les mortalités pathologiques (Stolbur) et les mortalités climatiques et agronomiques ? Peut-on quantifier l'importance de ces différentes causes dans les mortalités de plantes ?
- Peut-on préciser le lien entre mortalités et état hydrique des plants ?
- Peut-on préciser le lien entre mortalités et séquences climatiques ?

- Peut-on préciser le lien entre mortalités et enracinement des plants ?

Ces questions sont aujourd'hui au cœur de la constitution d'un nouveau programme de recherche qui sera coordonné par l'iteipmai sur la période 2011-2013.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie dépérissements lavandes et lavandins, iteipmai, septembre 1993

Comptes-rendus 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000 et 2001 du programme coordonné de recherche sur les dépérissements des lavandes et lavandins, iteipmai

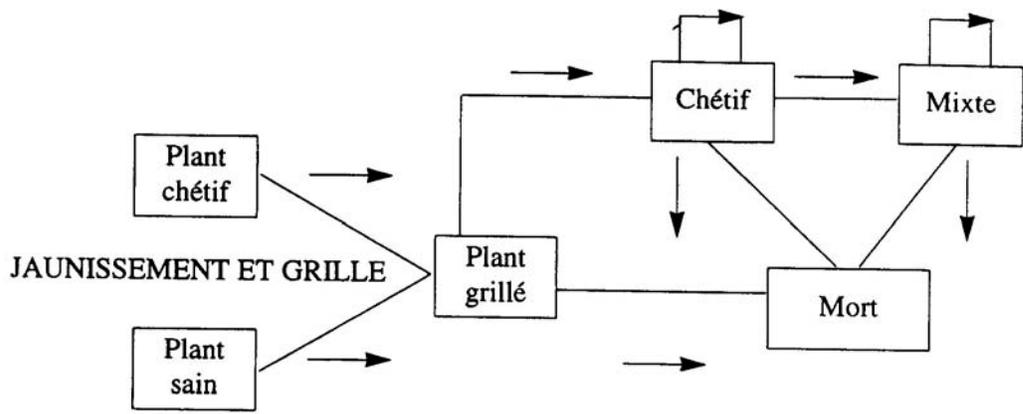
Comptes-rendus technique iteipmai 2002, 2003, 2004, 2005

Nusillard Benoit, 1997. Étude du rôle de quelques homoptères auchénorrhynques dans le Dépérissement de la lavande. Mémoire de maîtrise de biologie des organismes.

ANNEXES

- Annexe 1 : Schéma théorique d'évolution des plants dépérissants
- Annexe 2 : Protocole et grille de notation des symptômes de dépérissement en parcelle (version utilisée dans le programme de recherches 2007-2010)
- Annexes 3a et 3b : Évolution du dépérissement de 1996 à 2000 sur une parcelle de lavande clonale de M. Barthée, et de 1996 à 2004 sur une parcelle de lavande de population de M. Busi
- Annexes 4a et 4b : Bilan des espèces d'insectes collectés en 1996 par panneaux jaunes collants dans les trois parcelles de piégeage, et bilan 1998 des insectes collectés dans les lavanderaies et porteurs de phytoplasmes
- Annexe 5 : Vol 1996 des espèces *H. obsoletus* et *C. quadrinotatus* à Simiane la Rotonde (04) et Ferrassières (26) et périodes de contamination de plantes appâts
- Annexe 6 : Plan général de l'essai d'inoculation implanté en 1997 à Mévouillon
- Annexe 7 : Détails des modalités « *Hyalesthes obsoletus* » dans l'essai d'inoculation implanté en 1997
- Annexe 8 : Essai d'inoculation 1997 : notation des symptômes au 07.10.1997 (année de la plantation)
- Annexe 9 : Essai d'inoculation 1997 : notation des symptômes au 13.07.2001 (5^{ème} année de suivi)
- Annexe 10 : Essai d'inoculation 1997 : évolution des plantes témoins et des plantes inoculées de 1997 à 2001
- Annexe 11 : Plan général de l'essai d'inoculation 1998

- Annexe 12 : Modalités des sous-essais HO98 (*Hyalesthes obsoletus*) et CC98 (*Cechenottetix quadrinotatus*) au sein de l'essai d'inoculation 1998
- Annexe 13 : Comparaison des notations de symptômes dans le sous essai HO98 entre septembre 1998 et septembre 2001
- Annexe 14 : Essai d'inoculation 1998 : notation des symptômes au 01.10.2002 (5^{ème} année de suivi)
- Annexe 15 : Essai foyer de recontamination : Comparaison des symptômes de dépérissement entre mai 2001 et septembre 2004. (Mévouillon, plantation 1999, plants sains)
- Annexe 16 : Cycle de développement de *H. obsoletus* sur lavande
- Annexe 17 : Répartition dans le temps des différents stades larvaires de *H. obsoletus* collectés pendant la campagne 1997 dans des lavanderaies dépérissantes
- Annexe 18 : Distribution des différents génotypes de Stolbur dans les lavanderaies échantillonnées dans le programme Casdar 2007-2010 (résultats de juin 2010)
- Annexe 19 : Répartition des différents génotypes au sein des parcelles échantillonnées dans le programme Casdar 2007-2010 (résultats de juin 2010)
- Annexe 20 : Répartition des différents génotypes de Stolbur dans les échantillons de lavande et lavandin prélevés ainsi que dans les *H. obsoletus* collectés dans le programme Casdar 2007-2010 (résultats de juin 2010)



Annexe 1 :

Schéma théorique d'évolution des plants dépérissants

Protocole de notations des symptômes de dépérissement

Au printemps et à l'automne, à la reprise de végétation, noter selon la grille ci-dessous de 0 (plante sans symptôme apparent) à 7 (plante morte) les symptômes observés sur 1000 plantes en parcourant la parcelle en W.

Noter le code de la parcelle, le nom du clone ou de la variété, la date de prélèvement, le nom de la commune et le nom du notateur.

Eventuellement mettre une remarque si des symptômes autres que ceux liés au dépérissement sont observés sur les plantes notées (chlorose ferrique, cécidomyie, AMV,...)

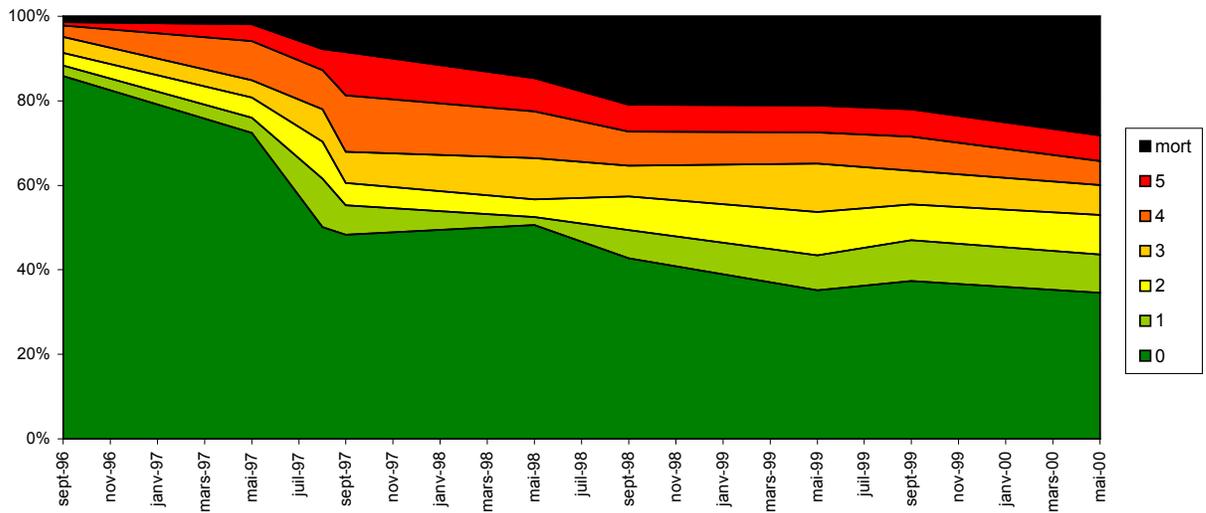
Prendre une photo générale de la parcelle.

Note	Symptômes de dépérissement
0	Plante bien vigoureuse et sans symptôme apparent
1	Plante « sub-normale » : moins vigoureuse, ou chétive, ou avec un retard de végétation
2	Plante jaunissante
3	De 0 à 25% de bois sec sur la plante
4	De 26 à 50% de bois sec sur la plante
5	De 51 à 75% de bois sec sur la plante
6	De 76 à 99% de bois sec sur la plante
7	100% de bois sec sur la plante = Plante morte

Annexe 2 :

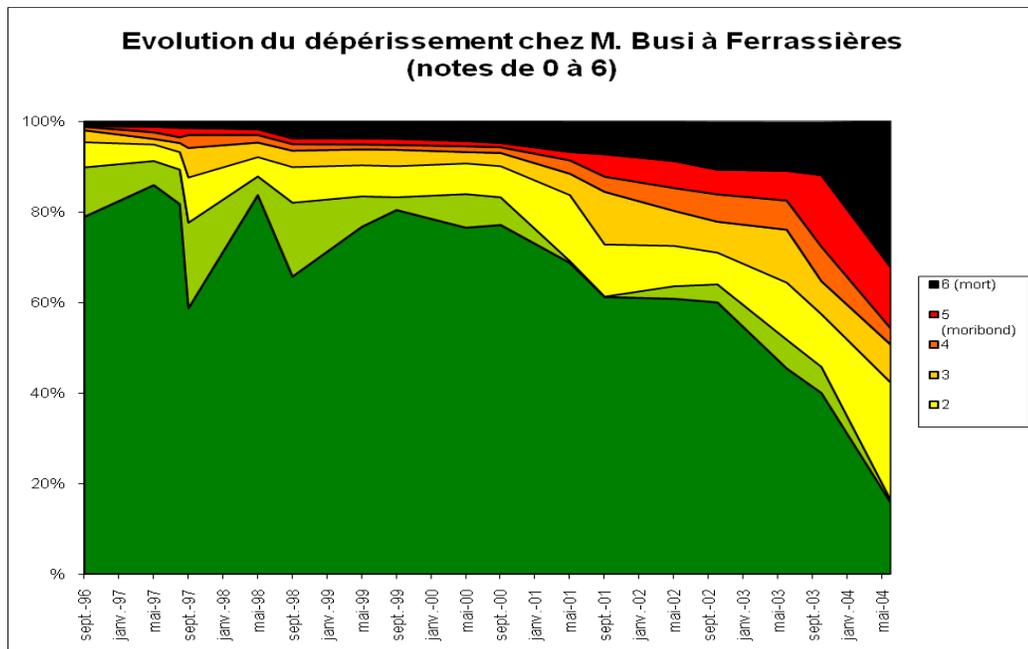
Protocole et grille de notation des symptômes de dépérissement en parcelle
(Version utilisée dans le programme de recherche Casdar 2007-2010)

Evolution du dépérissement chez Barthée (Sault)



Annexe 3a :

Évolution du dépérissement de 1996 à 2000 sur une parcelle de lavande clonale de M. Barthée.
(Sault, plantation 1996, plants traditionnels, parcelle retournée en 2001)



Annexe 3b :

Évolution du dépérissement de 1996 à 2004 sur une parcelle de lavande de population de M. Busi.
(Ferrassières, plantation 1996, plants traditionnels)

	Ferrassières	Simiane	Mévouillon	TOTAL
STERNORRHYNCHA				
PSYLLIDAE	15	8		23
AUCHENORRHYNCHA				
CERCOPIDAE	61	29	6	96
Aphrophora sp.	6	29		35
CIXIIDAE	2			2
Hyalesthes obsoletus	3	126		129
DELPHACIDAE	20	15	23	58
Asiraca clavicornis		1		1
DYCTHYOPHARIDAE	2	6		8
ISSIDAE	49	63		112
JASSIDAE				
Adarrus taurus	4			4
Agallia consobrina	60	4		64
Agallinae	6		4	10
Allygidius abberatus	2			2
Anaceratagallia laevis	7			7
Anaceratagallia ribauti	91	43	74	208
Anaceratagallia venosa	124	56	26	206
Anaceratagallia sp	65	7	4	76
Aphrodes limicola	2			2
Aphrodes makarovi	7		1	8
Aphrodes sp.		1	2	3
Araldus propinquus		14		14
Arocephalus longiceps	9	7	2	18
Arocephalus sagittarius	2	1		3
Arthaldeus sp	1			1
Arthaldeus striifrons	2	1		3
Artianus interstitialis	4	17		21

Annexe 4a :

Bilan des espèces d'insectes collectés en 1996 par panneaux jaunes collants
dans les trois parcelles de piégeage
(suite sur la page suivante)

	Ferrassières	Simiane	Mévouillon	TOTAL
<i>Athysanus argenteus</i>		4		4
<i>Austroagallia sinuata</i>		14	4	18
<i>Bacalocerus prunii</i>			1	1
<i>Cechenotettix quadrinotatus</i>	58	18	2	78
<i>Cechenotettix sp</i>		1		1
<i>Centrotus cornutus</i>	1	2		3
<i>Circulifer opacipennis</i>	7	23	2	32
<i>Circulifer sp</i>	6	3	3	12
<i>Diplocolenus frauenfeldi</i>	4	127		131
<i>Diplocolenus sp</i>	1			1
<i>Dryodurgades reticulatus</i>	3			3
<i>Ebarrius cognatus</i>	3	44	3	50
<i>Eohardya fraudulentus</i>	10	275	5	290
<i>Eupelix cuspidata</i>		6		6
<i>Euscelidius variegatus</i>			1	1
<i>Euscelinae sp.</i>	10	6	5	21
<i>Euscelis incisus</i>	483	463	178	1124
<i>Fieberiella flori</i>		1		1
<i>Flepsius sp</i>	1			1
<i>Goniagnathus brevis</i>		2		2
<i>Graphocraerus ventralis</i>	4			4
<i>Grypotes puncticollis</i>		1		1
<i>Hardya tenuis</i>	1		47	48
<i>Idiocerinae</i>	2		1	3
<i>Idiocerus herrichi</i>	1			1
<i>Jassargus obtusivalvis</i>	2	6		8
<i>Laburru quadratus</i>		36		36
<i>Macropsis fuscula</i>		12		12
<i>Macropsis sp</i>	3	1		4
<i>Macrosteles 4-punctulatus</i>			106	106
<i>Macrosteles levis</i>			16	16
<i>Mendreus serratus</i>			1	1
<i>Mendreus sextus</i>			1	1
<i>Mendreus sp</i>	1	2	1	4
<i>Mocydia sp</i>			2	2
<i>Neoliturus fenestratus</i>	180	305	2	487
<i>Neoliturus guttulatus</i>	7	1	6	14
<i>Platymetopius guttatus</i>		2		2
<i>Platymetopius major</i>			21	21
<i>Platymetopius rostratus</i>	119	276		395
<i>Platymetopius undatus</i>		4		4
<i>Psammotettix confinis</i>		16		16
<i>Psammotettix sp.</i>	32	38	48	118
<i>Psammotettix striatus</i>	3	21		24
<i>Rhopalopyx elongatus</i>	2	68	1	71
<i>Rhopalopyx preysleri</i>			1	1
<i>Rhytistylus proceps</i>	1			1
<i>Selenocephalus obsoletus</i>	1	3		4
<i>Sorhoanus medius</i>	1			1
<i>Streptanus emulens</i>			1	1
<i>Streptanus sp</i>	3			3
<i>Ziginidia scutellaris</i>		1		1
TOTAL				4 305

60 espèces ont été déterminées précisément.

Annexe 4a (suite) :

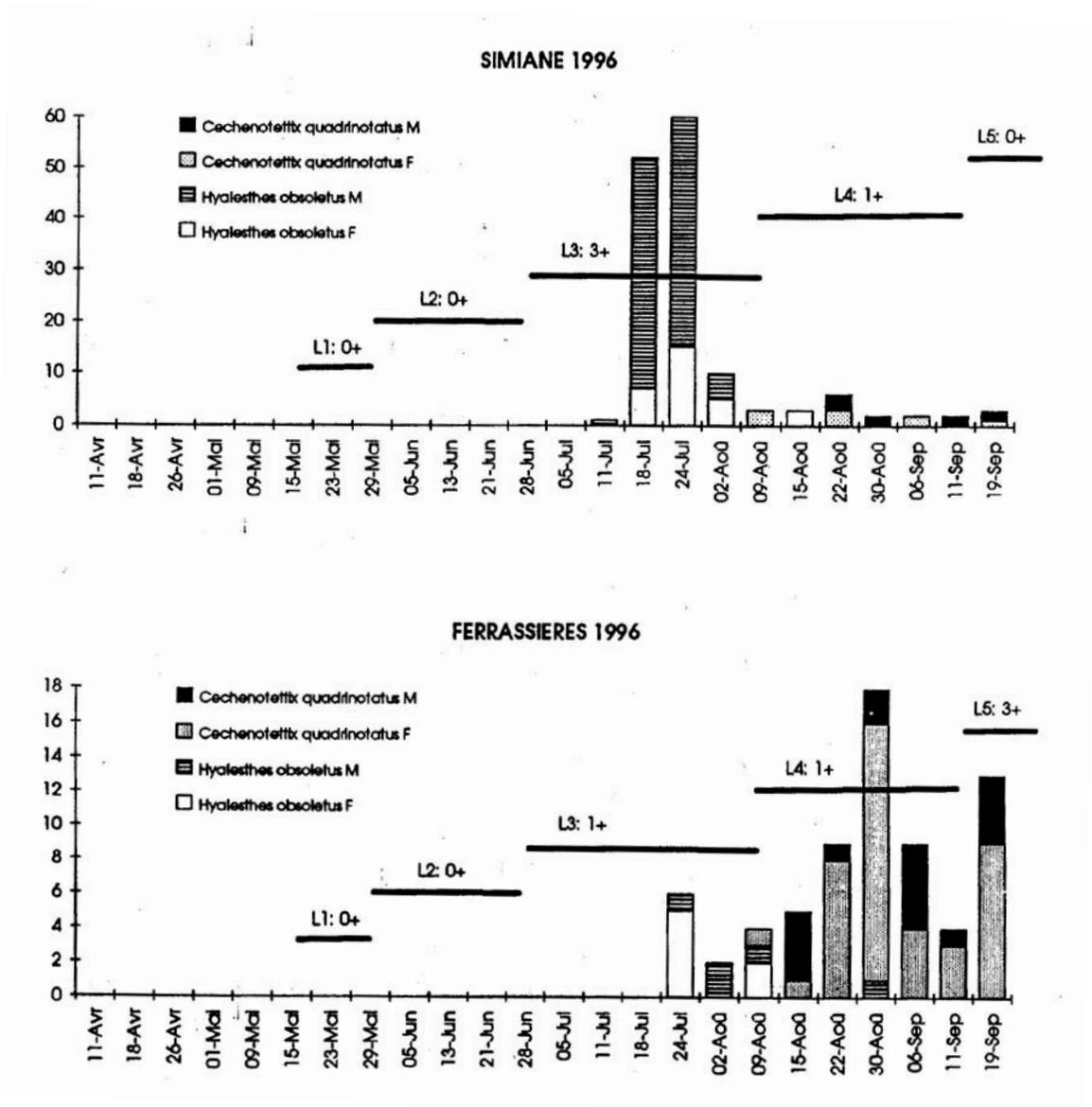
Bilan des espèces d'insectes collectés en 1996 par panneaux jaunes collants dans les trois parcelles de piégeage

Espèces	Nombre d'insectes capturés	Nombre d'insectes testés	Nombre d'insectes positifs parmi les insectes testés	Phytoplasmes détectés	% d'insectes positifs par rapport au nombre d'insectes testés
<i>Anacerataglia ribauti</i>	10	8	1	Phi	12,5%
<i>Anacerataglia venosa</i>	24	17	1	Phi	5,9%
<i>Austroagalia sinuata</i>	93	10	1	Stol	10,0%
<i>Cechenotettix quadrinotatus</i>	810	669	13	+	1,9%
<i>Diplocolenus frauenfeldi</i>	118	110	6	Phi, Stol, +	5,4%
<i>Hardya tenuis</i>	25	5	2	Stol	40,0%
<i>Hyalesthes obsoletus</i> (adultes)	544	541	141	Stol, Phi, +, AY	26,1%
<i>Hyalesthes obsoletus</i> (larves)	108	106	5	Stol	4,7%
<i>Neoliturus fenestratus</i>	123	25	1	Phi	4,0%
<i>Neophilaenus campestris</i>	49	49	1	Phi	2,0%
<i>Neophilaenus lineatus</i>	23	21	3	Stol, +	14,3%
<i>Philaenus spumarius</i>	44	42	1	+	2,4%
<i>Platymetopius undatus</i>	25	16	2	+	12,5%
<i>Psammotettix striatus</i>	48	33	9	+	27,3%

D'après données INRA de Dijon, laboratoire des phytoplasmes - 1998

Annexe 4b :

Bilan 1998 des insectes collectés dans les lavanderaies et porteurs de phytoplasmes
(STOL = Stolbur, Phi = Phyllodie du trèfle, AY = Aster Yellow, + = autre phytoplasme non déterminé)
(Ne figurent que les espèces présentant au moins 1 individu testé positif, les insectes des autres espèces étant tous négatifs)



Légende :

L1, L2, L3, L4, L5 : période d'exposition de séries de plantes appâts

0+, 1+, 2+, 3+ : Nombre de plante appât positive au Stolbur dans une série

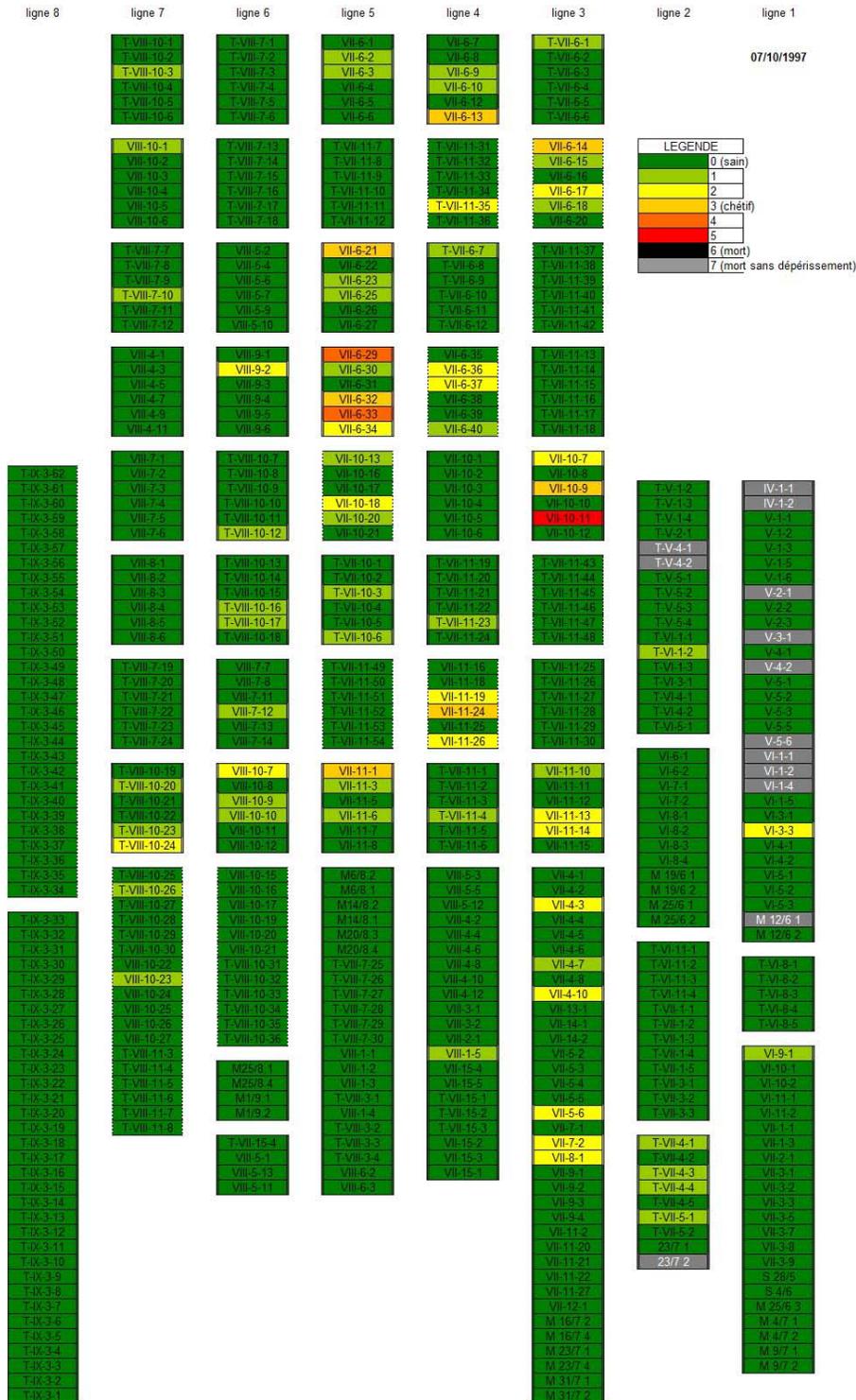
Annexe 5 :

Vol 1996 des espèces *H. obsoletus* et *C. quadrinotatus* à Simiane la Rotonde (04) et Ferrassières (26) et périodes de contamination de plantes appâts

ligne 8	ligne 7	ligne 6	ligne 5	ligne 4	ligne 3	ligne 2	ligne 1
TABLEAU 3	T-VIII-10-1 T-VIII-10-2 T-VIII-10-3 T-VIII-10-4 T-VIII-10-5 T-VIII-10-6	T-VIII-7-1 T-VIII-7-2 T-VIII-7-3 T-VIII-7-4 T-VIII-7-5 T-VIII-7-6	HLF	HF	TLF	Essai 97 Essai Hyalesthes Modalités	
	VIII-10-1 VIII-10-2 VIII-10-3 VIII-10-4 VIII-10-5 VIII-10-6	T-VIII-7-13 T-VIII-7-14 T-VIII-7-15 T-VIII-7-16 T-VIII-7-17 T-VIII-7-18	TF	T	H	Légende	
	T-VIII-7-7 T-VIII-7-8 T-VIII-7-9 T-VIII-7-10 T-VIII-7-11 T-VIII-7-12	VIII-5-2 VIII-5-4 VIII-5-6 VIII-5-7 VIII-5-9 VIII-5-10	HLF	TLF	T	Témoin T	
	VIII-4-1 VIII-4-3 VIII-4-5 VIII-4-7 VIII-4-9 VIII-4-11	VIII-9-1 VIII-9-2 VIII-9-3 VIII-9-4 VIII-9-5 VIII-9-6	HF	H	TF	Témoin sous filet TF	
	VIII-7-1 VIII-7-2 VIII-7-3 VIII-7-4 VIII-7-5 VIII-7-6	T-VIII-10-7 T-VIII-10-8 T-VIII-10-9 T-VIII-10-10 T-VIII-10-11 T-VIII-10-12	H	HLF	HF	Témoin sous filet, Lindane TLF	
T-IX-3-62 T-IX-3-61 T-IX-3-60 T-IX-3-59 T-IX-3-58 T-IX-3-57 T-IX-3-56 T-IX-3-55 T-IX-3-54 T-IX-3-53 T-IX-3-52 T-IX-3-51 T-IX-3-50 T-IX-3-49 T-IX-3-48 T-IX-3-47 T-IX-3-46 T-IX-3-45 T-IX-3-44 T-IX-3-43 T-IX-3-42 T-IX-3-41 T-IX-3-40 T-IX-3-39 T-IX-3-38 T-IX-3-37 T-IX-3-36 T-IX-3-35 T-IX-3-34	VIII-8-1 VIII-8-2 VIII-8-3 VIII-8-4 VIII-8-5 VIII-8-6	T-VIII-10-13 T-VIII-10-14 T-VIII-10-15 T-VIII-10-16 T-VIII-10-17 T-VIII-10-18	TLF	TF	T	Exposé HO H	
	T-VIII-7-19 T-VIII-7-20 T-VIII-7-21 T-VIII-7-22 T-VIII-7-23 T-VIII-7-24	VIII-7-7 VIII-7-8 VIII-7-11 VIII-7-12 VIII-7-13 VIII-7-14	T	H	TF	Exposé HO, sous filet HF	
	T-VIII-10-19 T-VIII-10-20 T-VIII-10-21 T-VIII-10-22 T-VIII-10-23 T-VIII-10-24	VIII-10-7 VIII-10-8 VIII-10-9 VIII-10-10 VIII-10-11 VIII-10-12	HLF	TLF	HF	Exposé HO, filet, Lindane HLF	
	T-VIII-10-25 T-VIII-10-26 T-VIII-10-27 T-VIII-10-28 T-VIII-10-29 T-VIII-10-30 T-VIII-10-31 T-VIII-10-32 T-VIII-10-33 T-VIII-10-34 T-VIII-10-35 T-VIII-10-36	VIII-10-15 VIII-10-16 VIII-10-17 VIII-10-19 VIII-10-20 VIII-10-21 T-VIII-10-31 T-VIII-10-32 T-VIII-10-33 T-VIII-10-34 T-VIII-10-35 T-VIII-10-36	M6/8.2 M6/8.1 M14/8.2 M14/8.1 M20/8.3 M20/8.4 T-VIII-7-25 T-VIII-7-26 T-VIII-7-27 T-VIII-7-28 T-VIII-7-29 T-VIII-7-30 VIII-1-1 VIII-1-2 VIII-1-3 T-VIII-3-1 VIII-1-4 T-VIII-3-2 T-VIII-3-3 T-VIII-3-4 VIII-6-2 VIII-6-3	VIII-5-3 VIII-5-5 VIII-5-12 VIII-4-2 VIII-4-4 VIII-4-4 VIII-4-5 VIII-4-6 VIII-4-8 VIII-4-10 VIII-4-12 VIII-3-1 VIII-3-2 VIII-2-1 VIII-1-5 VIII-1-5 VIII-1-5 VIII-1-5 VIII-5-4 VIII-5-5 VIII-5-6 VIII-7-1 VIII-7-2 VIII-8-1 VIII-9-1 VIII-9-2 VIII-9-3 VIII-9-4 VIII-11-2 VIII-11-20 VIII-11-21 VIII-11-22 VIII-11-27 VIII-12-1 M 16/7 2 M 16/7 4 M 23/7 1 M 23/7 4 M 31/7 1 M 31/7 2	VII-4-1 VII-4-2 VII-4-3 VII-4-4 VII-4-5 VII-4-6 VII-4-7 VII-4-8 VII-4-10 VII-4-10 VII-13-1 VII-14-1 VII-14-2 VII-5-2 VII-5-3 VII-5-4 VII-5-5 VII-5-6 VII-7-1 VII-7-2 VII-8-1 VII-9-1 VII-9-2 VII-9-3 VII-9-4 VII-11-2 VII-11-20 VII-11-21 VII-11-22 VII-11-27 VII-12-1 M 16/7 2 M 16/7 4 M 23/7 1 M 23/7 4 M 31/7 1 M 31/7 2	T-VI-1-2 T-VI-1-3 T-VI-1-4 T-VI-1-4 T-VI-2-1 T-VI-4-1 T-VI-4-2 T-VI-5-1 T-VI-5-2 T-VI-5-3 T-VI-5-4 T-VI-1-1 T-VI-1-2 T-VI-1-3 T-VI-3-1 T-VI-4-1 T-VI-4-2 T-VI-5-1 T-VI-5-2 T-VI-5-3 T-VI-5-5 T-VI-5-6 VI-6-1 VI-6-2 VI-7-1 VI-7-2 VI-8-1 VI-8-2 VI-8-3 VI-8-4 M 19/6 1 M 19/6 2 M 25/6 1 M 25/6 2 T-VI-11-1 T-VI-11-2 T-VI-11-3 T-VI-11-4 T-VI-11-1 T-VI-1-2 T-VI-1-3 T-VI-1-4 T-VI-1-5 T-VI-8-1 T-VI-8-2 T-VI-8-3 T-VI-8-4 T-VI-8-5 VI-9-1 VI-10-1 VI-10-2 VI-11-1 VI-11-2 VII-1-1 VII-1-3 VII-2-1 VII-3-1 VII-3-2 VII-3-3 VII-3-5 VII-3-7 VII-3-8 VII-3-9 S 28/5 S 4/6 M 25/6 3 M 4/7 1 M 4/7 2 M 9/7 1 M 9/7 2	

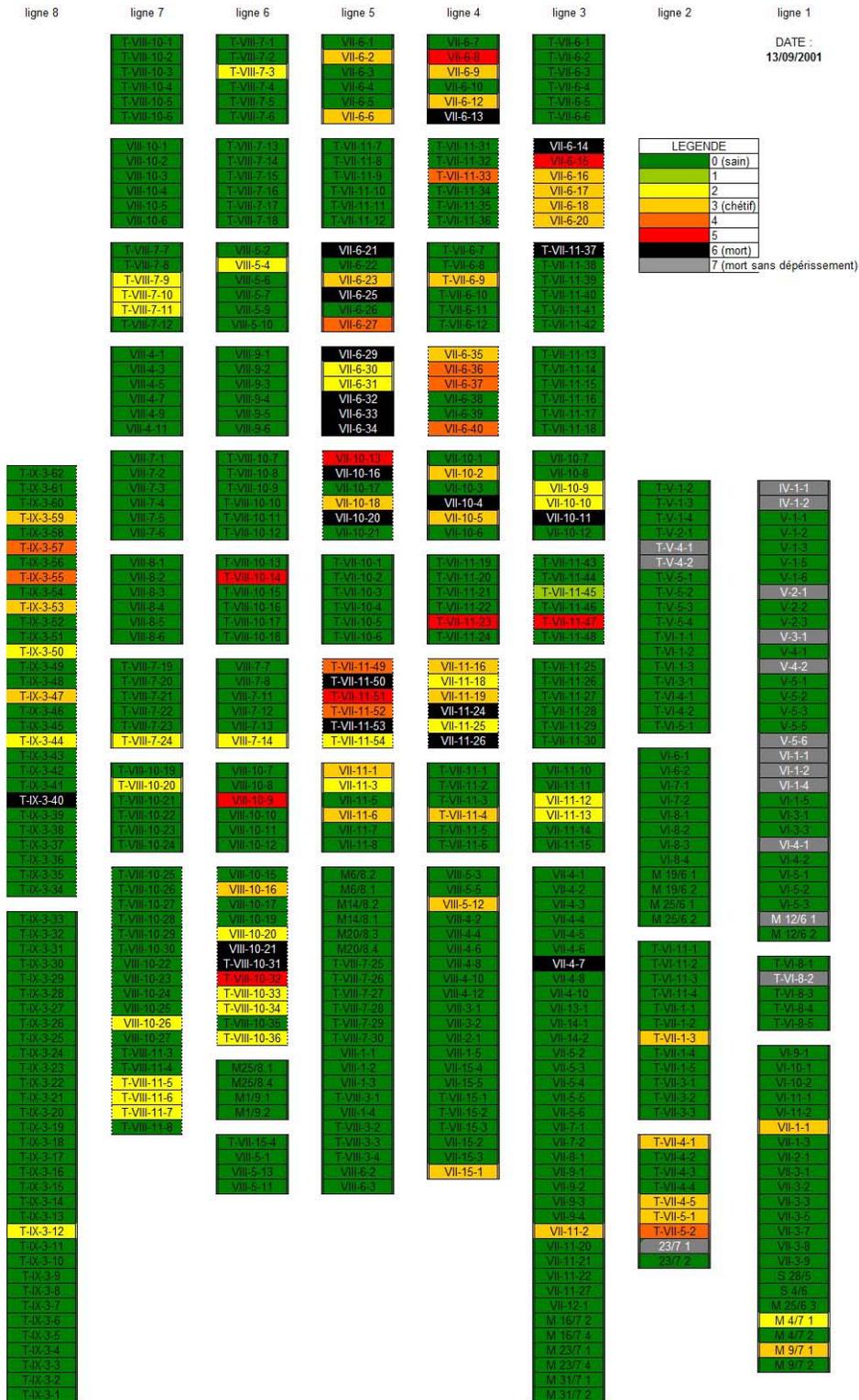
Annexe 7 :

Détails des modalités « *Hyalesthes obsoletus* » dans l'essai d'inoculation implanté en 1997
(1 rectangle correspond à 1 plante)



Annexe 8 :

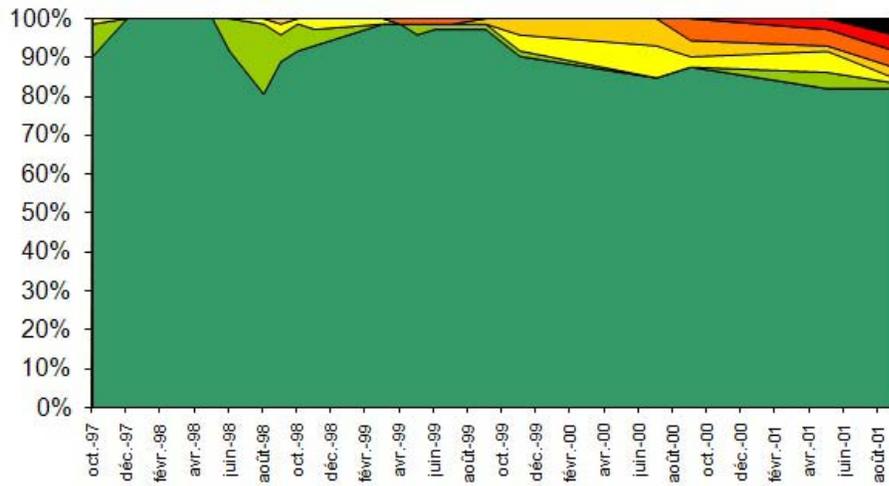
Essai d'inoculation 1997 : notation des symptômes au 07.10.1997 (année de la plantation)
 (1 rectangle correspond à 1 plante)



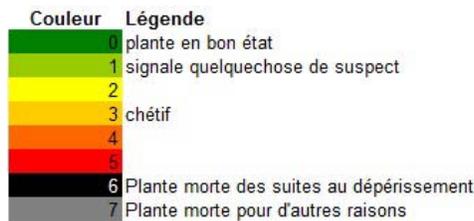
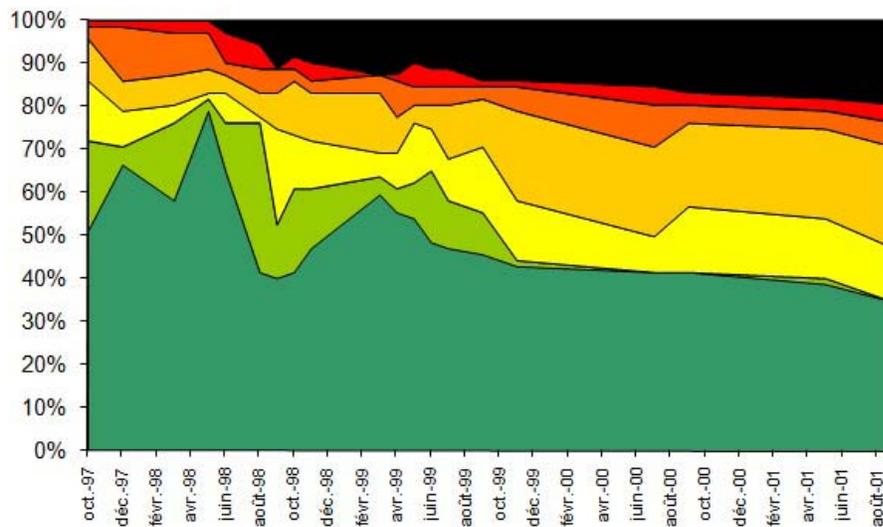
Annexe 9 :

Essai d'inoculation 1997 : notation des symptômes au 13.07.2001 (5^{ème} année de suivi)
(1 rectangle correspond à 1 plante)

Lavandes TEMOINS :



Lavandes INOCULEES :



Annexe 10 :

Essai inoculation 1997 : évolution des plantes témoins et des plantes inoculées de 1997 à 2001

Ligne 1	Ligne 2	Ligne 3	Ligne 4	Ligne 5	Ligne 6	Ligne 7	Ligne 8	
		BLOC 1	HLD	TLD	T	TLDR	HLDR	H
		BLOC 2	TLDR	HLDR	HLD	TLD	H	T
		BLOC 3	TLDR	HLDR	H	TLD	T	HLD
		BLOC 1	T	C	CD	TD		
		BLOC 2	C	TD	CD	T		
		BLOC 3	T	CD	TD	C		
		BLOC 4	C	TD	CD	T		

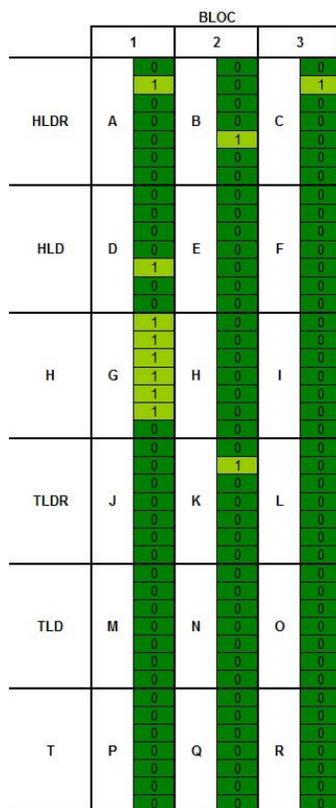
Essai Hyalésthés

Essai Cœchenotéfix

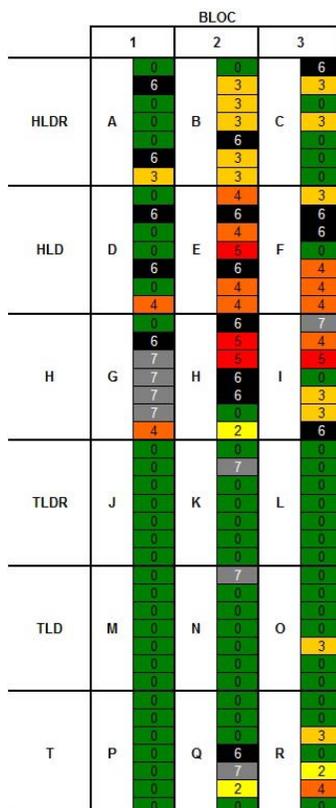
Modalités	Descriptifs
H	Lavande saine exposée à <i>H. obsoletus</i> et plantée en plein air
HLD	Lavande saine exposée à <i>H. obsoletus</i> et plantée sous filet insect proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation
HLDR	Lavande saine exposée à <i>H. obsoletus</i> et plantée sous filet insect proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation. La plante est plantée à Racines nues .
T	Lavande saine Témoin (non exposée à des insectes) et plantée en plein air
TLD	Lavande saine Témoin et plantée sous filet insect-proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation
TLDR	Lavande saine Témoin et plantée sous filet insect-proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation. La plante est plantée à Racines nues .
C	Lavande saine exposée à <i>Cechenottetix quadrinotatus</i> , plantée en plein air
CD	Lavande saine exposée à <i>Cechenottetix quadrinotatus</i> , plantée sous filet insect-proof (Diathex)
T	Lavande saine Témoin plantée en plein air
TD	Lavande saine Témoin plantée sous filet insect-proof (Diathex)

Annexe 12 :

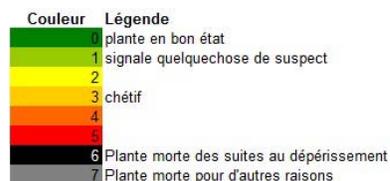
Modalités des sous-essais HO98 (*Hyalesthes obsoletus*) et CC98 (*Cechenottetix quadrinotatus*)
au sein de l'essai d'inoculation 1998
(1 rectangle correspond à 1 plante)



Date :
23/09/1998



Date :
13/09/2001



Modalités	Descriptifs
H	Lavande saine exposée à <i>H. obsoletus</i> et plantée en plein air
HLD	Lavande saine exposée à <i>H. obsoletus</i> et plantée sous filet insect proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation
HLDR	Lavande saine exposée à <i>H. obsoletus</i> et plantée sous filet insect proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation. La plante est plantée à Racines nues .
T	Lavande saine Témoin (non exposée à des insectes) et plantée en plein air
TLD	Lavande saine Témoin et plantée sous filet insect-proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation
TLDR	Lavande saine Témoin et plantée sous filet insect-proof (Diathex), traitement du sol au Lindane à la plantation. La plante est plantée à Racines nues .

Annexe 13 :

Comparaison des notations de symptômes dans le sous essai HO98
entre septembre 1998 et septembre 2001
(1 rectangle correspond à 1 plante)

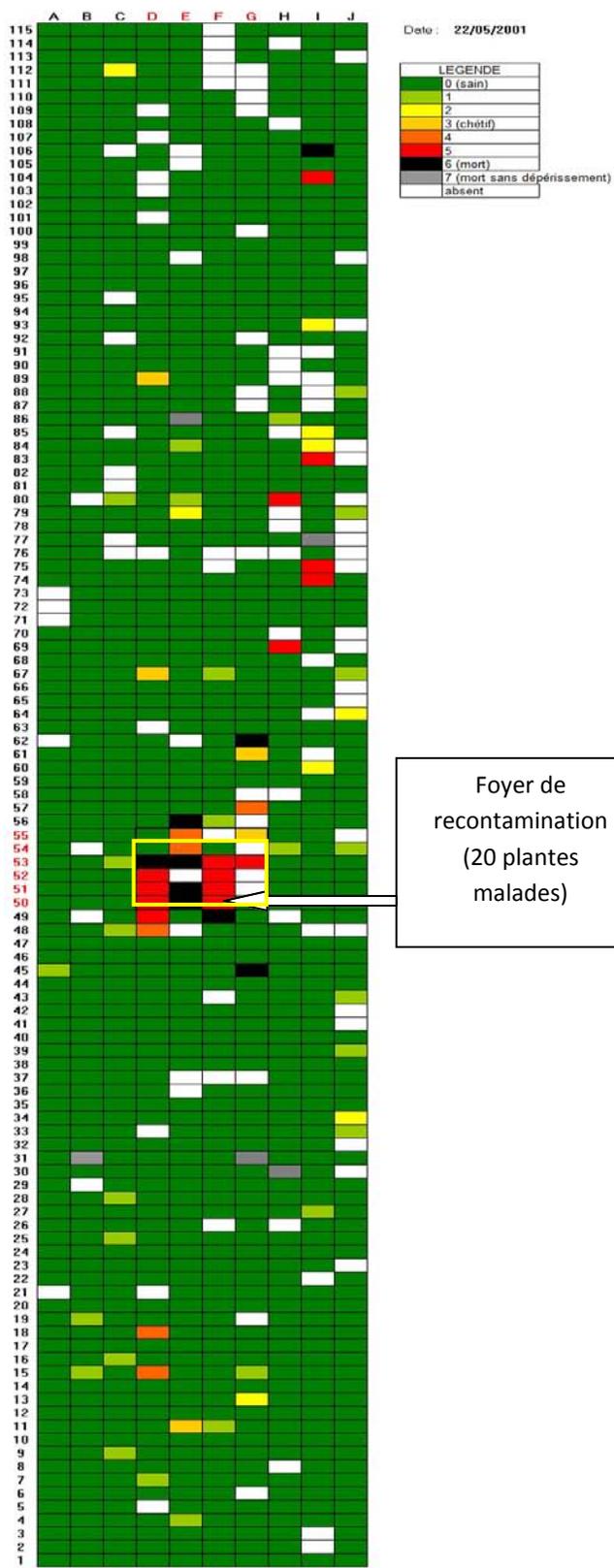
Ligne 1	Ligne 2	Ligne 3	Ligne 4	Ligne 5	Ligne 6	Ligne 7	Ligne 8
V - A 1	VI - G 1	VII-A-10	T-VII-A-11	T-VII-A-1	T-VII-A-19	VII-A-17	VII-A-1
V - A 3	VI - G 2	VII-A-11	T-VII-A-12	T-VII-A-2	T-VII-A-20	VII-A-18	VII-A-2
VI - A 1	VI - G 5	VII-A-12	VI - A 13	T-VII-A-4	T-VII-A-21	VII-A-19	VII-A-4
VI - A 2	VI - F 1	VII-A-13	T-VII-A-14	T-VII-A-5	T-VII-A-24	VII-A-20	VII-A-5
VI - A 3		VII-A-14	T-VII-A-15	T-VII-A-7	T-VII-B-1	VII-A-21	VII-A-6
VI - A 4		VII-A-15	T-VII-A-17	T-VII-A-8	T-VII-B-2	VII-A-22	VII-A-7
VI - A 5		VII-A-16	T-VII-A-18	T-VII-A-10	T-VII-B-3	VII-A-23	VII-A-8
VI - A 6	T-VI-G-1						
VI - D 2	T-VI-G-2	T-VII-C-12	VII-C-8	VII-C-1	T-VII-C-5	VII-B-1	T-VII-B-4
VI - D 4	T-VI-G-3	T-VII-E-1	VII-C-9	VII-C-2	T-VII-C-6	VII-B-2	T-VII-B-5
VI - D 5	T-VI-G-4	T-VII-E-2	VII-C-10	VII-C-3	T-VII-C-7	VII-B-3	T-VII-B-6
VI - D 6	T-VI-G-5	T-VII-E-3	VII-C-11	VII-C-4	T-VII-C-8	VII-B-4	T-VII-J-11
VI - D 7	VI - A 7	T-VII-E-4	VII-C-12	VII-C-5	T-VII-C-9	VII-B-5	T-VII-C-2
VI - D 8	VI - A 8	T-VII-E-5	VII-C-13	VII-C-6	T-VII-C-10	VII-B-6	T-VII-C-3
VI - D 10	VI - B 14	T-VII-E-6	VII-C-14	VII-C-7	T-VII-C-11	VII-B-7	T-VII-J-12
	VI - D 12						
T-V-A-1	VI - D 13	T-VII-F-9	VII-I-5	VII-E-1	T-VII-F-2	T-VII-E-7	VII-C-15
T-V-A-2	VI - D 14	T-VII-F-10	VII-I-6	VII-E-2	T-VII-F-3	T-VII-E-8	T-VII-E-8
T-V-A-3	VI - D 15	T-VII-F-11	VII-J-1	VII-E-3	T-VII-F-4	T-VII-E-9	VII-F-13
T-V-A-4	VI - D 16	T-VII-F-12	VII-J-5	VII-E-4	T-VII-F-5	T-VII-E-10	VII-I-1
T-V-A-5	VI - G 7	T-VII-H-1	VII-J-7	VII-E-5	T-VII-F-6	T-VII-E-11	VII-I-2
T-V-A-6		T-VII-E-x	VII-J-10	VII-E-6	T-VII-F-7	T-VII-E-12	VII-I-3
T-VI-A-1	T-VI-D-1	T-VII-E-x	VII-J-15	VII-E-7	T-VII-F-8	T-VII-F-9	VII-I-4
T-VI-A-2	T-VI-D-2						
T-VI-A-3	T-VI-D-3	T-VII-J-1	VIII-A-5	VII-F-2	T-VII-I-1	VII-C-17	VIII-D-1
T-VI-A-4	T-VI-D-4	T-VII-J-2	VIII-B-1	VII-F-4	T-VII-I-2	VII-F-14	VIII-D-10
T-VI-A-5	T-VI-D-5	T-VII-J-3	VIII-E-26	VII-F-5	T-VII-I-3	VII-J-14	VIII-E-5
T-VI-A-6	T-VI-D-6	T-VII-J-4	VIII-C-3	VII-F-10	T-VII-I-5	VIII-D-3	VIII-E-8
		T-VII-J-5	VIII-C-4	VII-F-11	T-VII-I-6	VIII-D-9	VIII-E-11
V - A 5	VII-F-1	T-VII-J-6	VIII-C-5	VII-G-1	T-VII-I-7	VIII-D-16	VIII-E-16
V - A 6	VII-F-3	T-VII-J-8	VIII-D-2	VII-I-8	T-VII-I-8	VIII-D-20	VIII-E-20
VI - B 1	VII-F-7	T-VII-J-9	VIII-E-28	VII-I-9	T-VII-I-9	VIII-D-22	VIII-E-24
VI - B 2	VII-F-8	T-VII-J-10	VIII-D-5	VII-A-3	T-VII-J-10	VIII-E-7	VIII-E-27
VI - B 3	VIII-F-1					VIII-E-12	VIII-F-3
VI - B 4	VIII-H-24	VIII-E-4	T-VII-J-14	VIII-D-6	T-VIII-D-1	VIII-E-17	VIII-J-3
VI - B 5	VIII-H-25	VIII-E-6	T-VIII-C-1	VIII-D-7	T-VIII-D-2	VIII-E-18	VIII-J-5
VI - B 6	VIII-H-26	VIII-E-9	T-VIII-C-2	VIII-D-8	T-VIII-D-3	VIII-E-19	VIII-J-7
VI - B 7	VIII-H-28	VIII-E-10	T-VIII-C-3	VIII-D-11	T-VIII-D-4	VIII-E-21	VIII-J-8
VI - B 8	VIII-H-29	VIII-E-13	T-VIII-C-4	VIII-D-14	T-VIII-D-5	VIII-E-25	VIII-J-17
VI - B 9	VIII-H-30	VIII-E-14	T-VIII-C-5	VIII-D-15	T-VIII-D-6	VIII-E-29	
VI - B 10	VIII-H-31	VIII-E-15	T-VIII-C-6	VIII-E-1	T-VIII-D-7	VIII-J-4	T-VIII-J-1
VI - B 11	VIII-J-1	VIII-E-22	T-VIII-C-7	VIII-E-2	T-VIII-D-8	VIII-J-6	T-VIII-J-2
VI - B 12		VIII-E-23	T-VIII-C-8	VIII-E-3	T-VIII-D-9	VIII-J-8	T-VIII-J-3
	VII-D-1					VIII-J-16	T-VIII-J-4
T-VI-B-1	VII-D-2	T-VIII-I-10	VIII-H-1	T-VIII-I-1	VIII-F-4	VIII-J-18	T-VIII-J-5
T-VI-B-2	VII-D-3	T-VIII-I-11	VIII-H-2	T-VIII-I-2	VIII-G-1		T-VIII-J-6
T-VI-B-3	VII-D-4	T-VIII-I-12	VIII-H-3	T-VIII-I-3	VIII-G-2	VII-E-8	T-VIII-J-7
T-VI-B-4	VII-D-5	T-VIII-H-1	VIII-H-4	T-VIII-I-4	VIII-G-3	VII-E-9	T-VIII-J-8
T-VI-B-5	VII-D-7	T-VIII-H-2	VIII-H-5	T-VIII-I-5	VIII-G-4	VII-E-10	T-VIII-J-9
T-VI-B-6	VII-D-9	T-VIII-H-3	VIII-H-7	T-VIII-I-6	VIII-G-5	VII-E-11	T-VIII-J-10
T-VI-B-7	VII-H-4	T-VIII-H-4	VIII-H-8	T-VIII-I-7	VIII-G-6	VII-E-12	T-VIII-J-11
T-VI-B-8	VII-H-5	T-VIII-H-5	VIII-H-9	T-VIII-I-8	VIII-G-7	VIII-F-14	T-VIII-J-12
T-VI-B-9	VII-J-2	T-VIII-H-6	VIII-H-10	T-VIII-I-9	VIII-G-9	VII-J-12	
T-VI-B-10	VIII-10						
T-VI-B-11	VIII-B-5	VIII-H-11	T-VIII-H-7	VIII-I-2	T-VIII-H-16	VII-G-2	T-X-D-1
T-VI-B-12	VIII-B-6	VIII-H-12	T-VIII-H-8	VIII-I-3	T-VIII-H-17	VIII-H-27	T-X-D-2
	VII-J-16	VIII-H-13	T-VIII-H-9	VIII-I-5	T-VIII-H-18	VIII-A-2	T-X-D-3
rac. lavées	VII-I-7	VIII-H-14	T-VIII-H-10	VIII-I-6	T-VIII-H-19	X-A-3	T-X-D-4
rac. lavées	VII-J-3	VIII-H-15	T-VIII-H-11	VIII-I-7	T-VIII-H-20	X-A-2	T-X-D-5
rac. lavées	VII-J-6	VIII-H-16	T-VIII-H-12	VIII-I-8	T-VIII-H-21	X-B-2	T-X-D-6
rac. lavées	VII-J-8	VIII-H-17	VIII-H-13	VIII-I-16	T-VIII-H-22	X-B-4	T-X-D-8
rac. lavées	VII-J-9	VIII-H-20	T-VIII-H-14	VIII-I-10	T-VIII-H-23	X-D-2	T-X-D-9
rac. lavées	VII-J-11	VIII-H-23	T-VIII-H-15	VIII-I-15	T-VIII-H-24	X-D-3	T-VIII-E-1
	VII-J-13					X-D-5	
						X-E-1	
						X-E-2	
						VII-H-3	
						VII-H-2	

Couleur Légende	
0	plante en bon état
1	signale quelque chose de suspect
2	
3	chétif
4	
5	
6	Plante morte des suites au dépérissement
7	Plante morte pour d'autres raisons

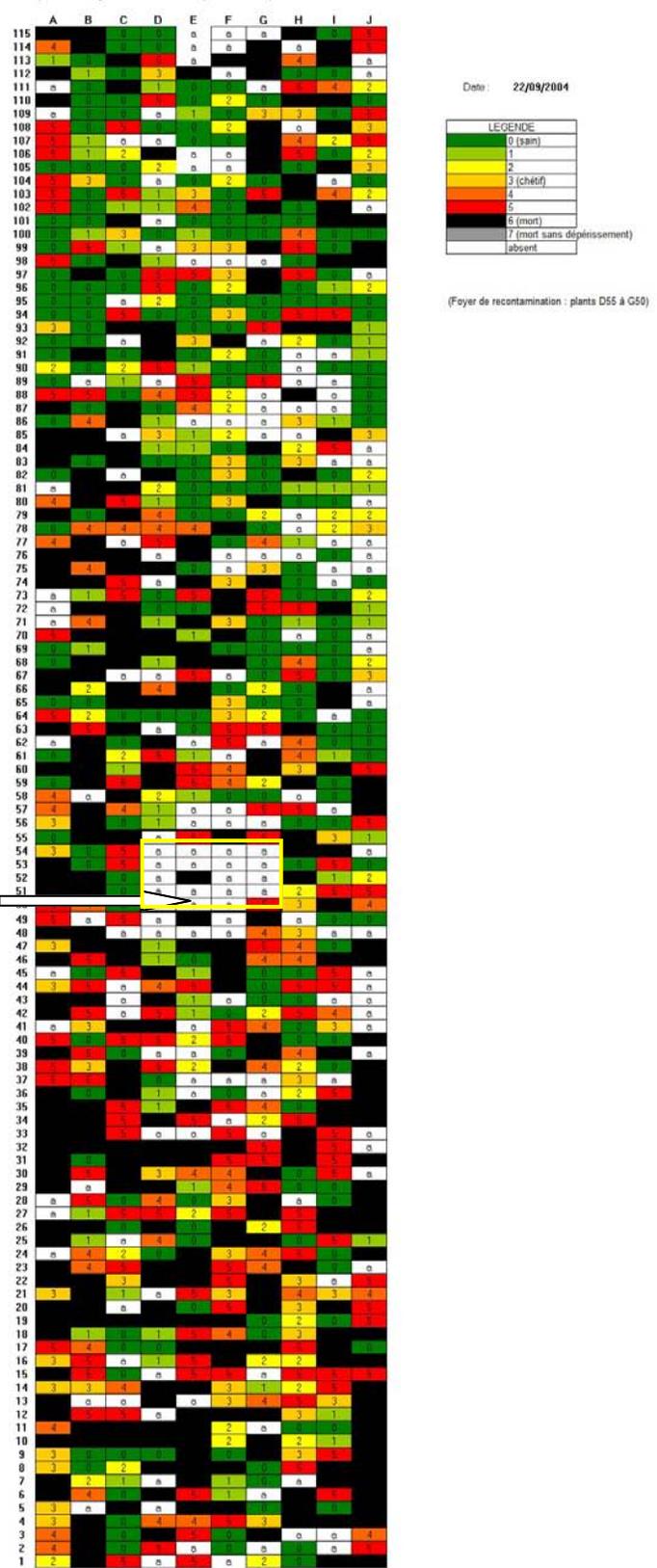
DATE : 01/10/2002

Annexe 14 :

Essai d'inoculation 1998 : notation des symptômes au 01.10.2002 (5^{ème} année de suivi)
(1 rectangle correspond à 1 plante)



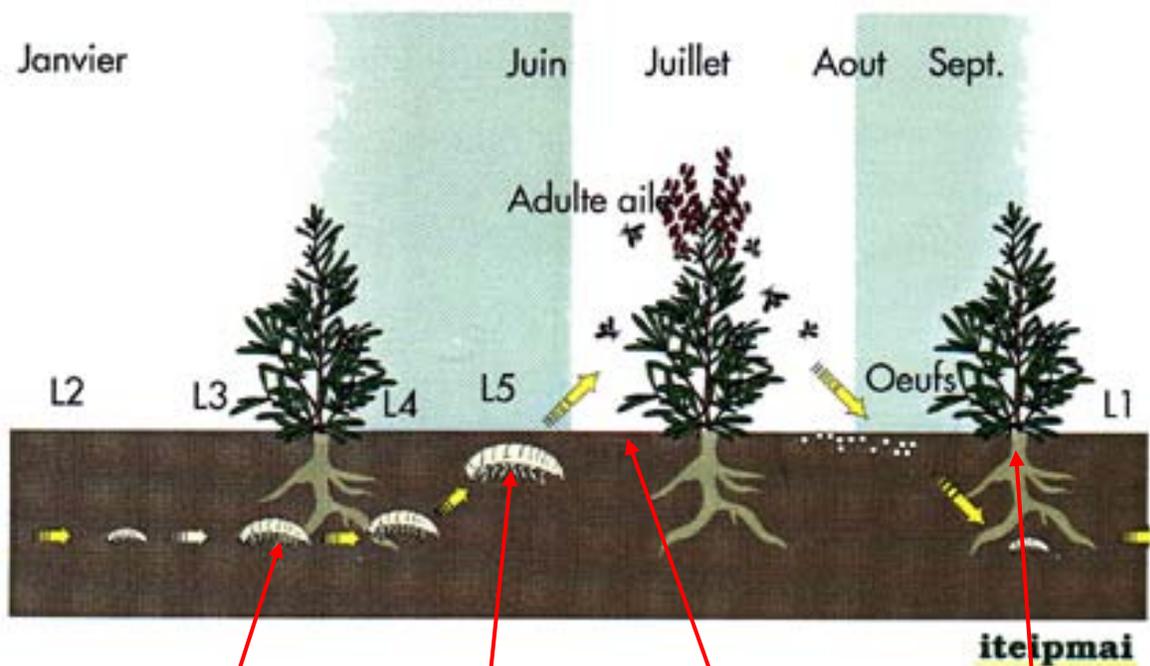
Foyer de
recontamination
(20 plantes
malades)



Annexe 15 :

Essai foyer de recontamination : Comparaison des symptômes de dépérissement entre mai 2001 et septembre 2004. (Mévouillon, plantation 1999, plants sains) (1 rectangle correspond à 1 plante)

Présence maximale d'abeilles
jusqu'à la récolte



Attention, les larves restent autour des racines, (comportement grégaire) car **protégées dans un « nid » de sécrétions cireuses blanches.**

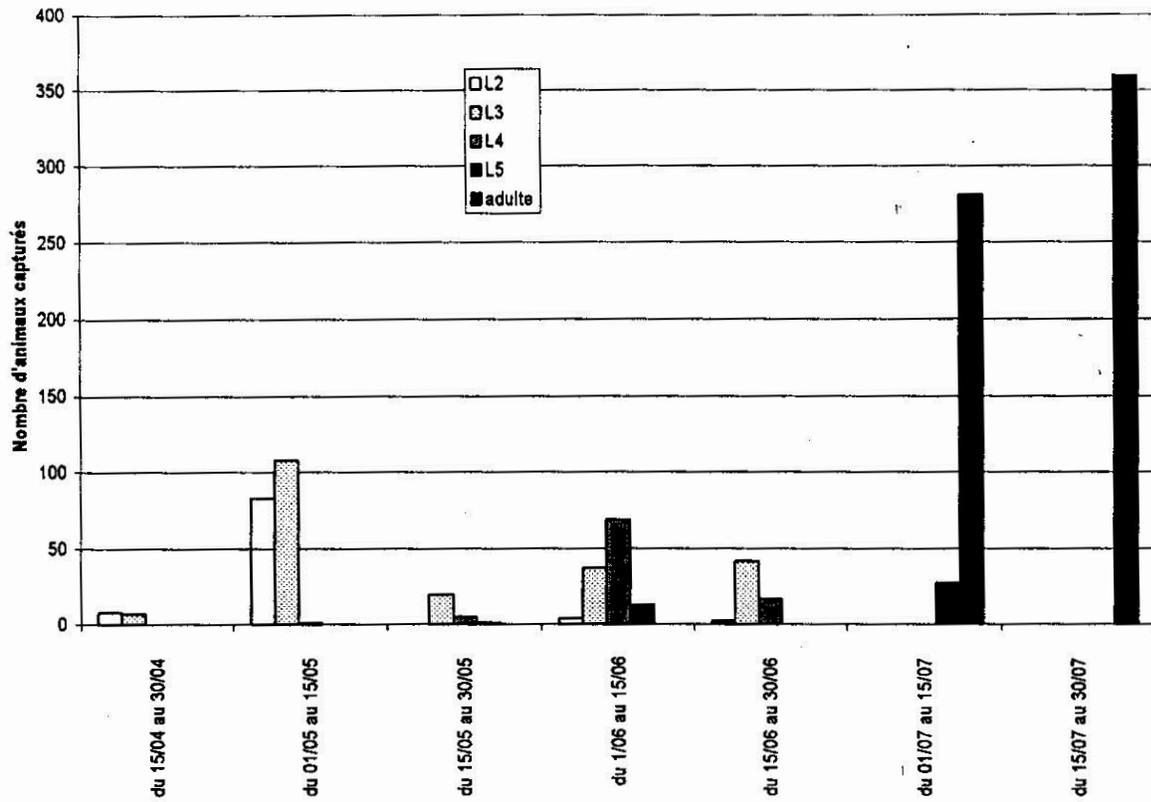
Une larve L5 peut être porteuse du Stolbur, et donnera dans ce cas un adulte porteur et immédiatement infectieux

La mue imaginale se fait **dans les premiers cm du sol** (de la même manière que la cécidomyie de la lavande)

Pontes au collet des plantes (et non pas sur le sol entre les plants)

Annexe 16 :

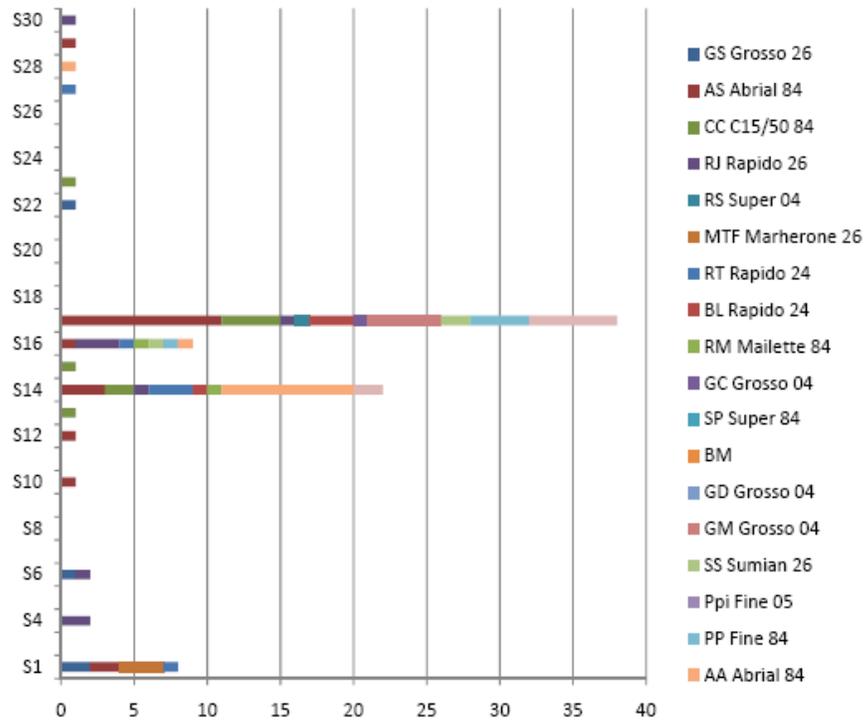
Cycle de développement de *H. obsoletus* sur lavande



Annexe 17 :

Répartition dans le temps des différents stades larvaires de *H. obsoletus* collectés pendant la campagne 1997 dans des lavanderies déperlantes

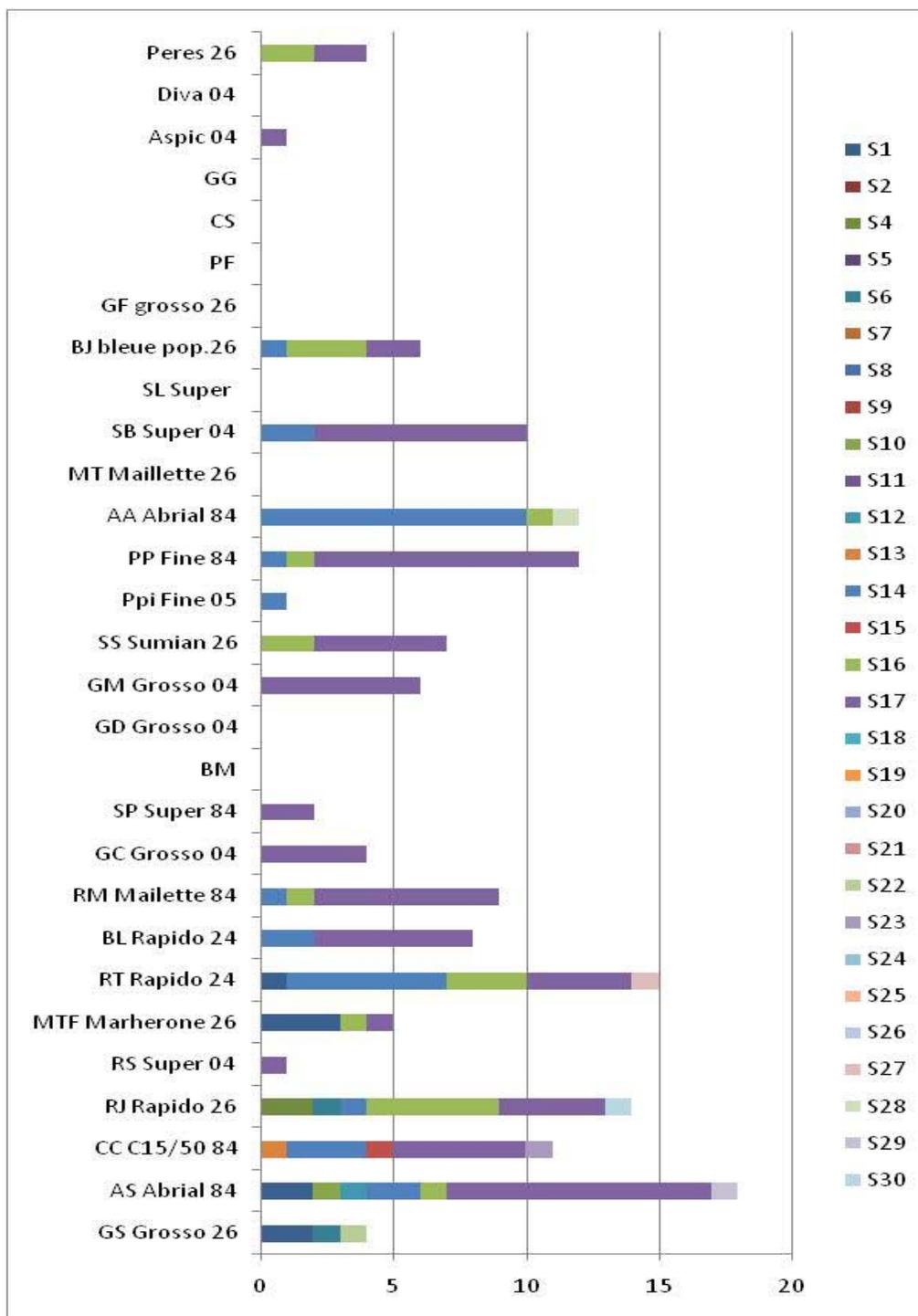
Les génotypes majoritaires S14, S16 et S17 sont présents dans de nombreuses parcelles



Équipe Étiologie et Épidémiologie des Bactérioses Phloémiennes, UMR 1090, INRA de Bordeaux

Annexe 18 :

Distribution des différents génotypes de Stolbur dans les lavanderaies échantillonnées dans le programme Casdar 2007-2010 (résultats de juin 2010)

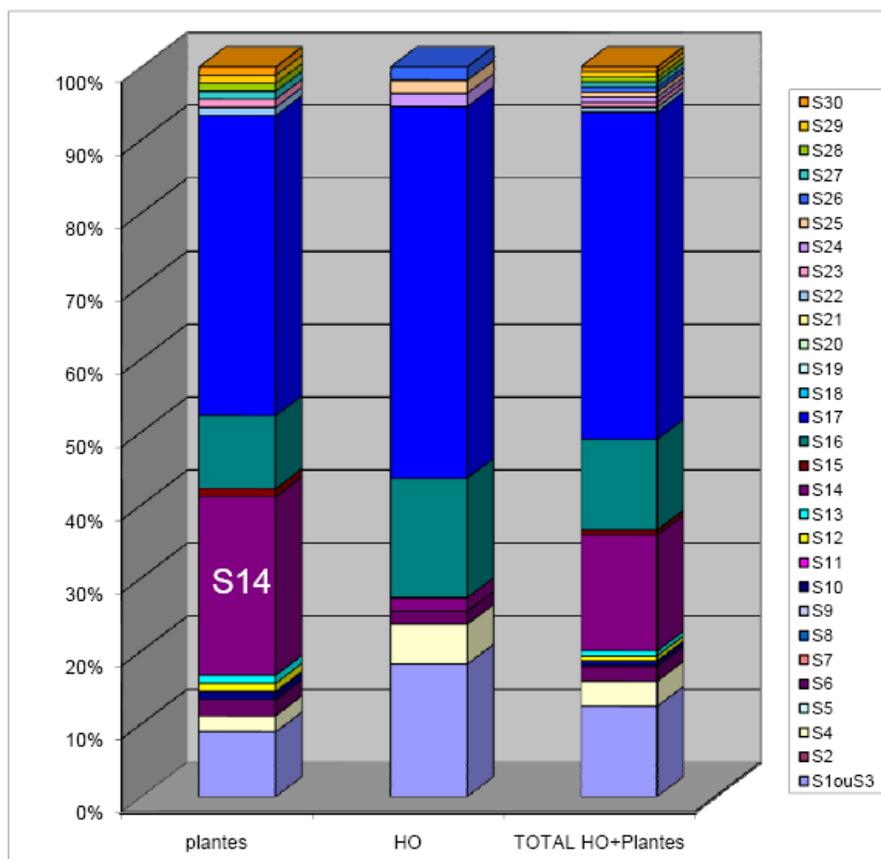


Équipe Étiologie et Épidémiologie des Bactérioses Phloémiennes, UMR 1090, INRA de Bordeaux

Annexe 19 :

Répartition des différents génotypes au sein des parcelles échantillonnées dans le programme Casdar 2007-2010 (résultats de juin 2010)

Le génotype majeur S14 est peu détecté chez les insectes vecteurs (HO) : propagation par le plant ? (déjà détecté en pied-mère)



Équipe Étiologie et Épidémiologie des Bactérioses Phloémiennes, UMR 1090, INRA de Bordeaux

Annexe 20 :

Répartition des différents génotypes de Stolbur dans les échantillons de lavande et lavandin prélevés ainsi que dans les *H. obsoletus* collectés dans le programme Casdar 2007-2010 (résultats de juin 2010)