

RÔLE DE BACTÉRIES DU PHLOÈME DANS LE SYNDROME DES BASSES RICHESSES (SBR). BIOLOGIE DE LEUR TRANSMISSION PAR UN CIXIIDÉ (HEMIPTERA FULGOROMORPHA). PERSPECTIVES DE LA LUTTE CONTRE LA MALADIE

E. BOUDON-PADIEU¹, F. GATINEAU¹, J. LARRUE¹,
M. RICHARD-MOLARD²

¹Institut National de la Recherche Agronomique, Dijon, France,

²Institut Technique de la Betterave Industrielle, Paris, France.

ABRÉGÉ

Le syndrome des basses richesses de la betterave sucrière (SBR) observé en Bourgogne et Franche-Comté (France) depuis 1991, induit une baisse soudaine de la teneur en sucre du pivot. Les recherches sur l'étiologie se sont appuyées sur l'identification d'un insecte vecteur candidat, un Cixiide (*Pentastiridius beieri*, Wagner, 1970) qui n'avait pas été observé auparavant sur culture de betterave et qui a été décrit dans cette région de France pour la première fois. Des insectes capturés dans les parcelles de betterave ont été déposés sous cage sur des betteraves saines qui ont ensuite manifesté tous les symptômes caractéristiques du SBR sur les feuilles et sur le pivot, montrant ainsi que *P. beieri* était impliqué dans la diffusion du SBR. Le cycle biologique de l'espèce au sein du système cultural a été élucidé. Des observations moléculaires et cytologiques réalisées sur des betteraves affectées par le SBR au champ ou après inoculation contrôlée par des spécimens de *P. beieri*, ont montré que l'une ou l'autre ou les deux ensemble de deux bactéries du phloème étaient associées au syndrome : un phytoplasme du stolbur et un Bacterium-like organism (BLO) et que ces deux agents étaient transmis par *P. beieri*. A l'issue de trois années d'observations, il a été montré que le BLO est l'agent étiologique principal. L'analyse de l'ADNr 16S a indiqué que le BLO représente une nouvelle γ -3 Proteobactérie phytopathogène. Les données acquises sur la biologie de *P. beieri* et sur la biologie de la vection des deux agents étiologiques associés au SBR, dans le système cultural de la production de betterave sucrière, fournissent des clés pour l'expérimentation de méthodes de lutte.

ABSTRACT.

The syndrome "basses richesses" of sugar beet (SBR), occurring in Burgundy and Franche-Comté (France) since 1991, causes a sudden drop of sugar content of taproot. Etiological investigations were based on the observation of a candidate insect vector, a Cixiid (*Pentastiridius beieri*, Wagner, 1970) not previously reported in sugar beet crops and described in this French region for the first time. Wild insects trapped in sugar beet fields were fed on sugar beet

seedlings which further developed all of the symptoms characteristic of SBR on leaves and taproot, demonstrating that *P. beieri* was involved in the transmission and diffusion of SBR. The biological cycle of the insect species in the cropping system was elucidated. Molecular and cytological observations on SBR-affected sugar beets from the field and on symptomatic sugar beets inoculated by *P. beieri*, showed that one or the other of two phloem-restricted bacteria could be associated to the syndrome : a stolbur phytoplasma and a Bacterium-like organism (BLO), hence both transmitted by wild specimens of *P. beieri*. Along with three-year observations, the BLO appeared to be the main etiological agent of the disease. On the basis of 16S rDNA analysis, the BLO was identified as a new phytopathogenic γ -3 *Proteobacteria*. The biology of *P. beieri* and the biology of the vection of the two agents associated with SBR, specified in sugar beet cropping system, now provide clues towards control methods.

KURZFASSUNG.

Das "Basses Richesses" Syndrom von Zuckerrüben (SBR), das in Burgund und Franche-Comté (Frankreich) seit 1991 beobachtet wird, verursacht einen Abfall des Wurzelzuckerinhaltes. Etiologische Versuche wurden auf der Identifizierung eines verdächtigen verseuchenden Insektes begründet, des Cixiides (*Pentastiridius beieri*, Wagner, 1970), der bisher nie in Zuckerrüben beobachtet, und der jetzt zum ersten Mal in diesem Gebiet beschrieben wurde. Wilde Insekten, die in Zuckerrübenfelder gefangen wurden, wurden auf Zuckerrübensämlingen in Käfigen übertragen. Diese Pflanzen haben später alle Symptome des SBR auf Blättern und Wurzeln entwickelt, was beweist, daß *P. beieri* in der Übertragung und in der Verbreitung des SBR verwickelt war. Der biologische Zyklus des Insektes im Anbausystem wurde erläutert. Molekulare und cytologische Versuche auf Zuckerrübenpflanzen, die mit SBR im Feld, oder durch *P. beieri* in kontrollierten Versuchen angesteckt wurden, haben gezeigt, daß sowohl die eine wie die andere (oder beide) von zwei Phloembeschränkenden Bakterien mit dem Syndrom verbunden sein könnten : ein Stolburphytoplasma und ein Bakterienähnlicher Organismus (BLO), die beide durch wilde *P. beieri* übertragen werden. Am Ende eines dreijährigen Versuches stellte sich heraus, daß der BLO der Haupterreger der Krankheit ist. Dank eines 16 S RNA Studium wurde der BLO als eine neue phytopathogenische γ -3 *Proteobacteria* identifiziert. Die erworbene Kenntnis der Biologie von *P. beieri* und der Biologie der Übertragung im Anbausystem beider mit SBR verbundenen etiologischen Erreger, trägt zur Entwicklung von Krankheitsbekämpfungsmethoden.

INTRODUCTION

Le Syndrome des basses richesses de la betterave sucrière (SBR) a été observé pour la première fois en Bourgogne (France) en 1991 (1) et s'est régulièrement manifesté depuis, avec des niveaux d'incidence différents selon les années en Bourgogne et en Franche-Comté. Les symptômes apparaissent à la fin de l'été, par le développement de nombreuses jeunes feuilles lancéolées à limbe étroit et chlorotique, tandis que les vieilles feuilles s'affaissent et montrent

des taches jaune d'or qui deviennent nécrotiques. Ces symptômes foliaires sont associés à une coloration brune des tissus vasculaires après section du pivot. Enfin, une chute brutale de la teneur en sucre du pivot se manifeste peu avant la récolte et peut atteindre jusqu'à 4 points du taux de sucre (1). Les recherches menées de 1991 à 1997 ont invalidé les hypothèses associant cette maladie à des virus ou des bactéries, et suggéré l'existence d'un agent de type phytoplasme transmis par voie aérienne. A partir de 1997, cette dernière hypothèse a été confortée par la découverte dans les champs de betterave des régions concernées, d'un insecte cixiide (Hémiptère fulgoromorphe) inconnu en Bourgogne jusqu'à présent et identifié comme *Pentastiridius beieri* Wagner, 1970 (2). Comme une autre espèce vectrice de phytoplasmes, *Hyalesthes obsoletus* Sign., était connue dans ce groupe (3), des spécimens de *P. beieri* et d'autres hémiptères capturés au champ ont été soumis à des essais de détection de phytoplasmes dans leur corps et à des essais de transmission à des plants sains de betterave et de pervenche de Madagascar (*Catharanthus roseus* L) sur lesquels ils étaient déposés. Parmi les hémiptères capturés, l'espèce *P. beieri* était la seule espèce chez laquelle des individus étaient porteurs de phytoplasmes (appartenant au groupe du stolbur) en proportion importante (jusqu'à 13% des insectes capturés) et de façon durable au long de l'été (4). La transmission du phytoplasme du stolbur a été montrée, car ce phytoplasme a été détecté également dans les plantes (betteraves ou pervenches) sur lesquelles les insectes porteurs s'étaient nourris (4). En outre, il a été découvert que les plantes ayant porté les *P. beieri* et montrant des symptômes, étaient porteuses d'une autre bactérie du phloème, un Bacterium-like-organism (BLO) provoquant les mêmes symptômes macroscopiques sur les feuilles et le pivot. Cette bactérie, caractérisée par l'analyse de son rADN, comme une γ -3 protéobactérie (2), a ensuite été détectée dans les betteraves naturellement infectées en provenance du champ (5). Le complexe étiologique semble donc éclairci. Toutefois il était essentiel de comprendre comment l'insecte vecteur se maintient au sein de l'agro système et donc, d'identifier les étapes de son cycle biologique ainsi que les facteurs de la biologie de la transmission des deux micro organismes. Le travail présenté ici relate les données obtenues et propose des pistes pour la recherche de méthodes de lutte. Il fait partie du travail de thèse de doctorat de F. GATINEAU (2).

MÉTHODES D'ÉTUDE

1.- INOCULATION CONTRÔLÉE PAR *P. BEIERI*

Lors des premiers essais de transmission, les plantes tests étaient des betteraves de semis, cultivées en pots et âgées de deux mois au moment du dépôt des insectes. Des symptômes foliaires avaient pu être observés, mais les symptômes sur pivot s'étaient développés tardivement. Afin de pouvoir comparer les symptômes et leur apparition entre les plantes du champ infectées naturellement et des plantes test inoculées expérimentalement, nous avons utilisé en 1999 des plantes-tests du même âge et cultivées dans les mêmes conditions que les betteraves au champ. Le dispositif utilisé consistait en deux tunnels insect-proof (12 m x 4,5 m = 54 m²) sous chacun desquels 6 rangs de 49 betteraves (soit 294 plantes) de la variété Roberta ont été semées au mois

de mars, après désinfection de la terre par la vapeur. Des insectes *P. beieri* capturés tout au long de la période d'activité des adultes ailés, sur une parcelle de betterave en région affectée par le SBR depuis 1991 (cf. chapitre suivant), ont été relâchés sous l'un des tunnels. Le second tunnel a servi de témoin. Quatre-vingt onze insectes ont été relâchés sous le premier tunnel, soit une densité de 1,7 insecte / m² ou 1 insecte / 3 betteraves. Une notation de symptômes a été réalisée en octobre, lors de l'apparition des symptômes au champ. Toutes les betteraves de chacun des deux tunnels ont été observées individuellement. Des échantillons ont été prélevés pour recherche de phytoplasmes et de BLO par amplification génique (PCR) des ADN ribosomiques. En outre, la richesse saccharine a été mesurée sur des betteraves de chaque tunnel.

2. ETUDE DE LA BIOLOGIE DU CIXIIDE *P. BEIERI*

2.1. DYNAMIQUE DES POPULATIONS D'ADULTES

Des relevés hebdomadaires des populations de *P. beieri* ont été réalisés en 1999, 2000 et 2001 dans plusieurs parcelles de betterave situées dans les régions affectées par le SBR depuis 1991. Les relevés ont commencé dès le début du mois de mai (18^{ème} semaine) et ont été effectués jusqu'au milieu du mois d'août (33^{ème} semaine). Les insectes étaient capturés avec un aspirateur D-Vac, par séries de 5 mn d'aspiration. Les spécimens de *P. beieri* dans chaque lot étaient comptés, déposés sur des plantes saines sous cloche, ou relâchés sous le tunnel insect-proof (cf. chapitre précédent).

D'autres captures et comptages ont été effectués dans des parcelles de blé d'hiver et une parcelle d'orge de printemps, toutes semées après betterave.

2.2. RECHERCHE DES PLANTES-HÔTES DES LARVES

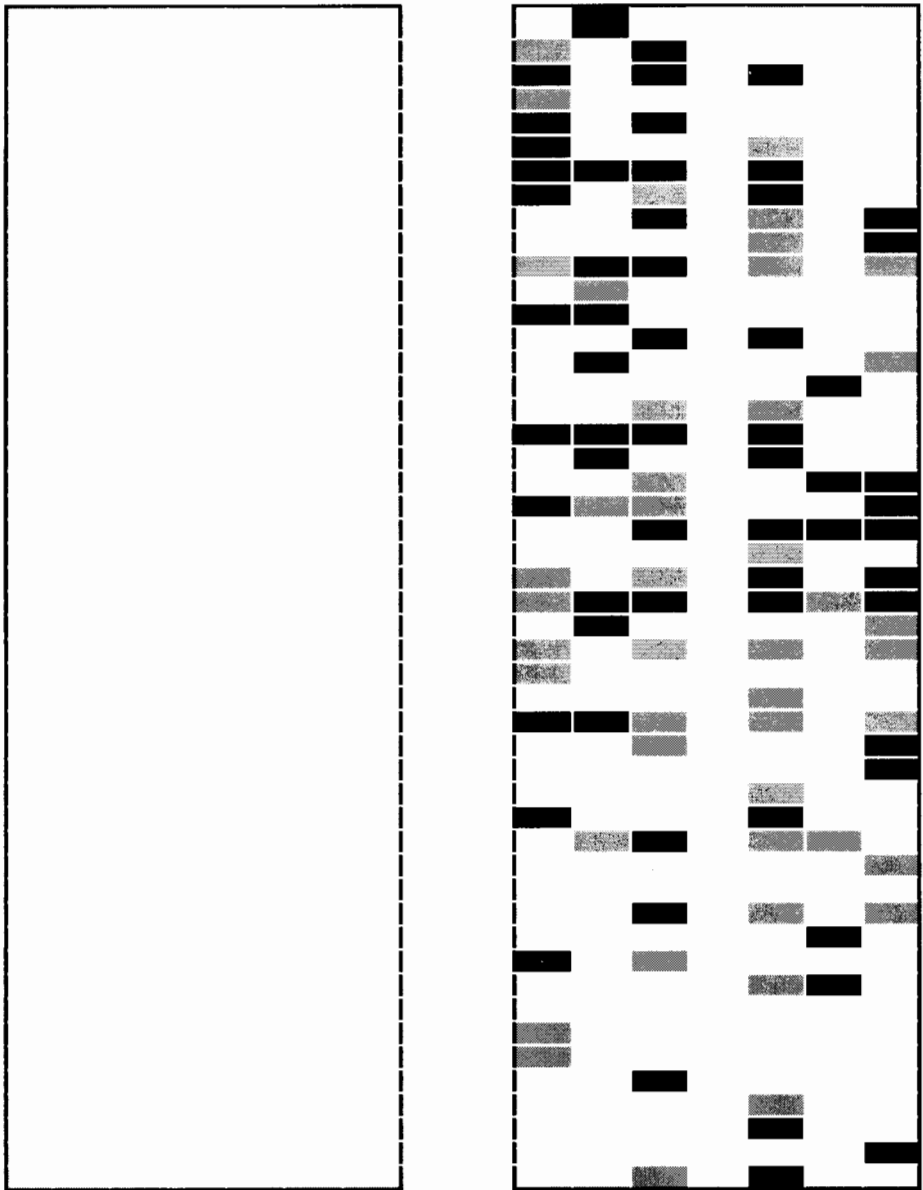
L'espèce *P. beieri* a 5 stades larvaires radicoles (2). Après avoir réalisé une étude morphométrique de ces larves afin de disposer de critères d'identification, des plantes cultivées et adventices situées dans l'environnement des parcelles de betterave ont été arrachées et leurs racines ainsi que les mottes de terre les enrobant, ont été inspectées pour la présence de larves. Cette recherche a été effectuée sur toutes les parcelles de betterave et de blé dans lesquelles des adultes avaient été trouvés l'été précédent (cf. chapitre ci-dessus), ainsi que dans les fourrières de quelques-unes de ces parcelles, afin de rechercher d'éventuelles plantes-hôtes adventices. Des larves ont été également recherchées dans les parcelles de betterave affectées par le SBR au mois d'octobre, juste avant l'arrachage.

3. BIOLOGIE DE LA VECTION DU BLO ET DU PHYTOPLASME ASSOCIÉS AU SBR

Différents insectes, adultes et formes larvaires de *P. beieri*, ont été récoltés et déposés sur des plantes saines pour essais de transmission. Ces spécimens étaient :

Figure 1. Expression de symptômes foliaires sur betteraves dans les tunnels insect-proof en 1999. Chaque tunnel comportait six rangs de 49 betteraves. Le tunnel de droite a reçu 91 spécimens de *P. beieri* capturés pendant le début de l'été dans les parcelles de betterave.

Leaf symptom expression on sugar beets in insect-proof tunnels in 1999. Six rows of 49 sugar beets were sown in each tunnel. The tunnel on the right received 91 specimens of *P. beieri* trapped during early summer in sugar beet fields.



Tunnel témoin sans *P. beieri*

Tunnel ayant reçu des *P. beieri*

symptômes très marqués de SBR
 symptômes marqués de SBR
 pas de symptôme de SBR
 plante absente

- des adultes en provenance des champs de betterave
- des adultes en provenance de champs de céréale après betterave
- des larves récoltées après l'arrachage des betteraves
- des larves récoltées sur des racines de blé
- des larves écloses en captivité à partir de pontes récoltées sur des pivots de betterave au champ
- des larves écloses de pontes déposées par des femelles en captivité

RÉSULTATS

1.- TRANSMISSION DU SBR PAR *P. BEIERI*

La figure 1 représente le dispositif des tunnels insect-proof. Aucun symptôme évoquant le SBR n'a été observé dans le tunnel témoin. Dans le tunnel ayant reçu les insectes au cours de l'été, 106 betteraves sur 273 observées (38,9 %) ont montré à la fin d'octobre des symptômes marqués ou très marqués de SBR sur les jeunes feuilles de la couronne. Des plantes montrant des symptômes ont été arrachées, ainsi que des plantes sans symptômes du même tunnel. Les plantes portant des symptômes foliaires présentaient également les symptômes racinaires caractéristiques, tandis que les plantes ne montrant pas de symptômes foliaires ne présentaient pas de symptômes racinaires.

Le tableau 1 présente les résultats des analyses de richesse dans 9 plantes avec symptômes et 9 plantes sans symptômes du tunnel exposé à *P. beieri* et dans 14 plantes du tunnel témoin. Une différence statistique sépare les plantes avec symptômes des plantes sans symptômes du tunnel exposé aux insectes et des plantes non inoculées du tunnel témoin.

Le tableau 2 présente les résultats de la détection du phytoplasme du stolbur et du BLO dans les plantes exposées à *P. beieri* dans le premier tunnel. Le phytoplasme n'a été détecté que dans 6 des 106 betteraves présentant des symptômes. Par contre, le BLO a été détecté dans quelques plantes ne montrant pas de symptômes et dans 86,8 % des plantes montrant des symptômes. Lorsque seules les plantes présentant des symptômes très marqués sont prises en compte, le taux de détection du BLO est de 93,4 %. Parmi les 6 plantes positives pour le phytoplasme du stolbur, 5 l'étaient également pour le BLO (infection mixte).

2. DYNAMIQUE DES VOLS D'ADULTES DE *P. BEIERI*

La figure 2 présente une synthèse des relevés des populations d'adultes de *P. beieri* réalisés pendant trois années dans des parcelles de céréale à précédent betterave (1999 à 2001) et dans des parcelles de betterave (1997, 1998, 2000). Elle confirme que les premiers adultes apparaissent à la fin du mois de mai et que les derniers volent jusqu'aux premiers jours du mois d'août (4). Par ailleurs, on discerne une migration, puisque que la présence d'adultes de *P. beieri* dans les céréales précède leur présence dans les champs de betterave. En outre, les

populations observées dans les champs de céréale décroissent au moment où elles augmentent dans les champs de betterave.

Tableau 1. Analyse de la richesse saccharine des pivots de betteraves issues des tunnels insect-proof "exposé aux insectes" et témoin en 1999.

Analysis of saccharine content of taproots of sugar beets from both insect proof "insect-exposed" and control tunnels in 1999.

betterave	origine	symptômes	ichesse saccharine (moy. de 2 lectures)	moyenne du lot	écart-type σ	mini	maxi	classement Newmann/Keuls au seuil 5%
1	Tunnel inoculé	++	10,8	10,5	1,0	8,4	11,6	a
2		++	10,9					a
3		++	11,7					a
4		++	11,5					a
5		++	9,9					a
6		++	10,4					a
7		+	11,3					a
8		+	10,5					a
9		+	8,6					a
10	Tunnel inoculé	-	13,6	12,5	0,7	11,7	13,7	b
11		-	13,7					b
12		-	12,2					b
13		-	12,3					b
14		-	12,3					b
15		-	11,7					b
16		-	11,8					b
17		-	12,3					b
18		-	12,8					b
19	Tunnel témoin	-	12,9	13,1	1,1	11,5	14,7	b
20		-	12,0					b
21		-	11,5					b
22		-	11,5					b
23		-	14,4					b
24		-	12,6					b
25		-	13,2					b
26		-	13,9					b
27		-	13,9					b
28		-	14,7					b
29		-	13,4					b
30		-	13,6					b
31		-	13,4					b
32		-	11,8					b

Tableau 2. Expression de symptômes, détection du phytoplasme du stolbur et du BLO dans les betteraves du tunnel exposées à *P. beieri* en 1999 et du tunnel témoin

Symptom expression and detection of stolbur phytoplasma and of BLO in sugar beets exposed to P. beieri in 1999 and in sugar beets from the control tunnel

Symptômes	Nombre de plantes examinées	plantes positives phytoplasme du stolbur		plantes positives BLO	
		N	%	N	%
Plantes exposées à <i>P. beieri</i> Total	271	6	2,2	120	43,9
sans symptômes	165	0	0	28	16,9
avec symptômes A. marqués	45	6 ^(a)	13,3	35	77,8
avec symptômes B. très marqués	61	0	0	57	93,4
avec symptômes total A+B	106	6	5,6	92	86,8
Plantes issues du tunnel témoin	14^(b)	0	0	0	0

^(a) Cinq des 6 plantes positives pour le phytoplasme étaient également positives pour le BLO

Five out of the six phytoplasma-positive sugar beets also tested BLO-positive

^(b) Les 14 plantes ont été prélevées au hasard dans le tunnel témoin

Fourteen plants were randomly selected in the control tunnel

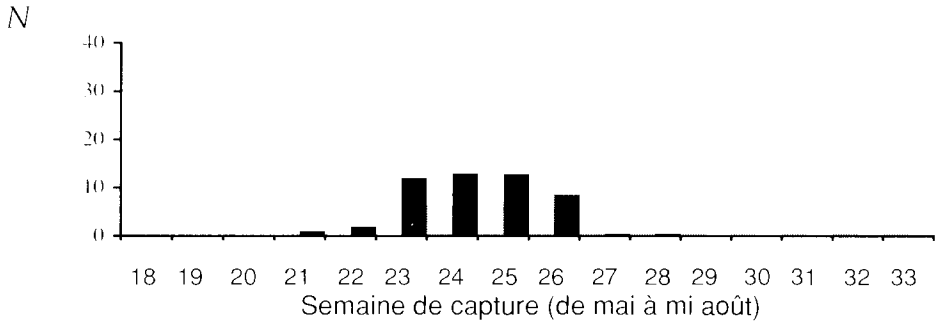
Ces données suggèrent que les adultes émergent dans les champs de céréale à précédent betterave et qu'ils migrent lorsque les blés mûrissent, à la recherche de nourriture plus succulente, accessible dans les champs de betterave contigus.

3. BIOLOGIE ET ETHOLOGIE DES STADES LARVAIRES

Durant l'été, des pontes sont déposées par les femelles sur le sol auprès du collet des betteraves. En captivité et à 20°C, ces pontes évoluent rapidement par l'éclosion et les transformations larvaires jusqu'à l'imago. Dans les champs, l'éclosion et les premières transformations larvaires se réalisent à la fin de l'été. Des larves (L₁ et L₂) ont été trouvées sur les pivots et dans les mottes de terre qui les entourent, pendant la fin de la culture et lors de l'arrachage. Les larves subsistant après l'arrachage continuent leur évolution dans le sol. Elles sont observées jusqu'en avril sur les racines des céréales qui succèdent à la betterave. La figure 3 synthétise ces observations.

Figure 2. Effectifs moyens des captures hebdomadaires de *P. beieri* adultes sur les champs de céréale à précédent betterave (année N-1) et sur les champs de betterave en année N. Les valeurs expriment la moyenne des captures réalisées pendant trois années.

Mean of numbers of *P. beieri* trapped weekly in cereal plots (wheat or barley) with sugar beet as preceding crop (year N-1) and in sugar beet plots on year N. Numbers show the mean of populations trapped in 3 years

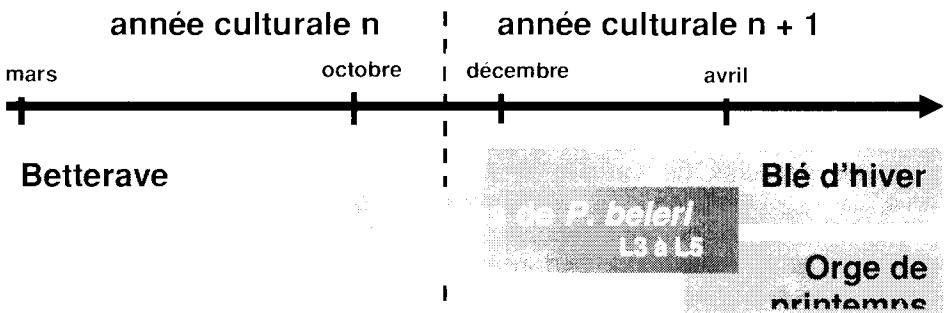


■ Moyenne des effectifs capturés en 5 mn sur céréales en 1999, 2000 et 2001
Mean of numbers trapped in 5 min on cereals in 1999, 2000 and 2001

■ Moyenne des effectifs capturés en 5 mn sur betterave en 1997, 1998 et 2000
Mean of numbers trapped in 5 min on sugar beet in 1997, 1998 and 2000

Figure 3. Observation des larves de *P. beieri* au champ avant et après l'arrachage des betteraves.

Observation of larvae instars of *P. beieri* in the fields before and after uprooting of sugar beets



4. CYCLE ET ÉTHOLOGIE DE *P. BEIERI* DANS LE SYSTÈME CULTURAL

La figure 4 représente le cycle biologique de *P. beieri* et ses déplacements au cours de trois années dans le proche environnement depuis les parcelles de céréale et les parcelles de betterave contiguës. Elle montre que l'espèce peut se maintenir dans une aire restreinte grâce au système d'assolement triennal

qui permet aux adultes de disposer de nourriture fraîche sur les jeunes céréales au printemps puis sur les feuilles de betterave en été, tandis que les larves peuvent se développer sur les racines des jeunes plants de blé ou d'orge en hiver et au début du printemps.

En outre, des adultes de *P. beieri* ont été récoltés sur des adventices peuplant les fourrières et les bordures des chemins. Ils y étaient présents à la période de migration entre les céréales et les betteraves, ce qui indique qu'ils s'y arrêtent pendant la recherche de nourriture fraîche. Cependant, ils y sont toujours en très faible nombre, probablement parce que le feuillage des betteraves représente un refuge abondant et très attractif.

5. BIOLOGIE DE LA VECTION DU PHYTOPLASME DU STOLBUR ET DU BACTERIUM-LIKE-ORGANISM

La figure 5 présente la synthèse des systèmes élucidés de la transmission et de l'acquisition du phytoplasme et du BLO.

5.1.- TRANSMISSION AUX PLANTES ET CYCLE BIOLOGIQUE DU PHYTOPLASME DU STOLBUR

Le phytoplasme du stolbur a été transmis aux plantes-tests de façon erratique selon les années. Le pourcentage de transmission maximum de 57 % des plantes exposées sous cage individuelle a été obtenu en 1998. Les insectes adultes porteurs du phytoplasme atteignaient un pic de 13% des captures hebdomadaires en 1997 et 1998, mais à l'inverse aucun insecte adulte porteur n'a été détecté en 2000 et 2001. Aucune larve capturée dans la nature et aucun individu issu de larves récoltées au champ n'a répondu positivement à la recherche de phytoplasme (Il faut rappeler que les phytoplasmes ne sont pas transmis verticalement à la descendance des adultes infectés). Ces données indiquent que le phytoplasme n'est acquis par *P. beieri* que de façon accidentelle et aléatoire. Toutefois, il a été montré que le phytoplasme peut induire à lui seul dans la betterave, tous les symptômes du SBR. Cet agent pathogène doit donc être pris en compte dans l'étiologie et l'épidémiologie du SBR.

La recherche des réservoirs de phytoplasme a permis de mettre en évidence dans les bordures de parcelle et les fourrières, d'adventices (*Convolvulus arvensis* L., *Polygonum aviculare* L.) montrant des symptômes de phytoplasme et qui ont répondu positivement au test de détection du phytoplasme du stolbur (2). Des insectes capturés dans ces bordures étaient positifs pour le phytoplasme (2).

On peut donc déduire de ces observations, que le phytoplasme est acquis par les insectes adultes en migration, sur les plantes réservoirs des bordures. La transmission est réalisée ensuite à des betteraves de la parcelle colonisée. Une nouvelle acquisition sur une betterave infectée, par les larves de la génération suivante nées sur cette plante, n'a jamais pu être démontrée. Par conséquent le cycle biologique du phytoplasme dans le système de culture de la betterave (Figure 5) est instable et aléatoire. Toutefois, la détection de phytoplasmes appartenant à d'autres groupes dans des betteraves en France (Boudon-

Padieu, non publié) et en Hongrie (6) suggère que les phytoplasmes peuvent être significativement responsables de maladies ressemblant au SBR dans d'autres régions.

5.2. TRANSMISSION AUX PLANTES ET CYCLE BIOLOGIQUE DU BLO

Parce que le BLO du SBR est très proche de bactéries endosymbiotiques d'insectes (2), la détection du BLO par les outils moléculaires actuellement disponibles ne peut être faite spécifiquement sur les insectes. Dans ce qui suit, la preuve de présence du BLO dans les insectes est une preuve indirecte basée sur les tests de transmission contrôlée, suivis de l'observation de symptômes et de la détection du BLO dans la plante.

La transmission par les *P. beieri* adultes, du BLO associé au SBR a été obtenue à la betterave et la pervenche avec des taux élevés. En 2000, 22 betteraves et 23 pervenches ont été exposées sous cage individuelle à des lots de 10-30 insectes adultes capturés au champ. Parmi les 22 betteraves, 19 ont été infectées par le BLO ainsi que 12 pervenches sur 23 (5).

En ce qui concerne les larves, la transmission a été obtenue avec des larves de tous stades récoltées au champ, ce qui suggère une acquisition précoce par prise de nourriture par les larves, sur les betteraves infectées où elles sont nées. En outre, des larves nées en captivité à partir de pontes récoltées au champ et déposées sur des plantes saines, ont transmis le BLO aux plantes-tests (2). Ceci démontre que, contrairement à ce qui est connu pour les phytoplasmes, le BLO peut passer par l'œuf d'une génération d'insecte à l'autre. Le taux de ce passage transovarien n'est toutefois pas connu.

Le rôle et l'existence de plantes réservoirs pour le BLO sont encore inconnus. Aucune plante adventice n'a été trouvée porteuse du BLO. De même, les blés sur lesquels les individus (larves ou jeunes adultes) de *P. beieri* ont été trouvés, n'ont jamais répondu positivement au test de détection du BLO. Il est donc possible que la betterave infectée soit une source d'acquisition pour la jeune larve née sur son pivot. Les deux sources d'acquisition du BLO par les insectes que sont la prise de nourriture par la larve sur la betterave malade et la transmission transovarienne, peuvent coexister et se superposer. La figure 5 schématise l'ensemble de ces observations et montre que le cycle biologique du BLO dans le système cultural de la betterave en Bourgogne est stable et dynamique.

CONCLUSION

Le présent travail apporte des connaissances très précises sur le cycle biologique de l'insecte vecteur du SBR, sur les cycles des deux agents pathogènes associés au syndrome et sur la biologie de la transmission de chacun des agents pathogènes, le phytoplasme et le BLO.

Figure 4. Cycle biologique et éthologie de *P. beteri* dans le système de rotation triennale
Biological cycle and ethology of P. beteri in the 3-year rotation system

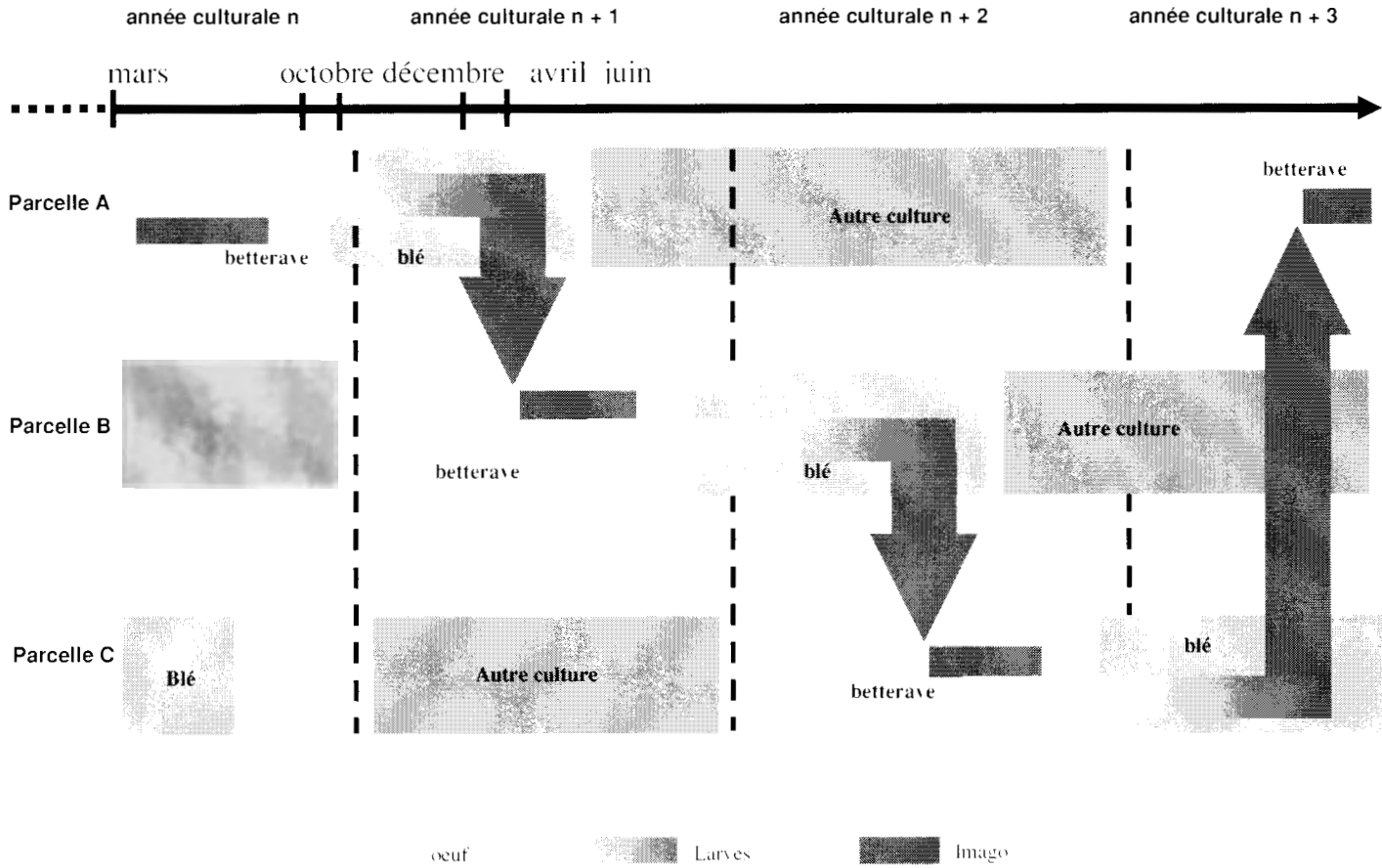
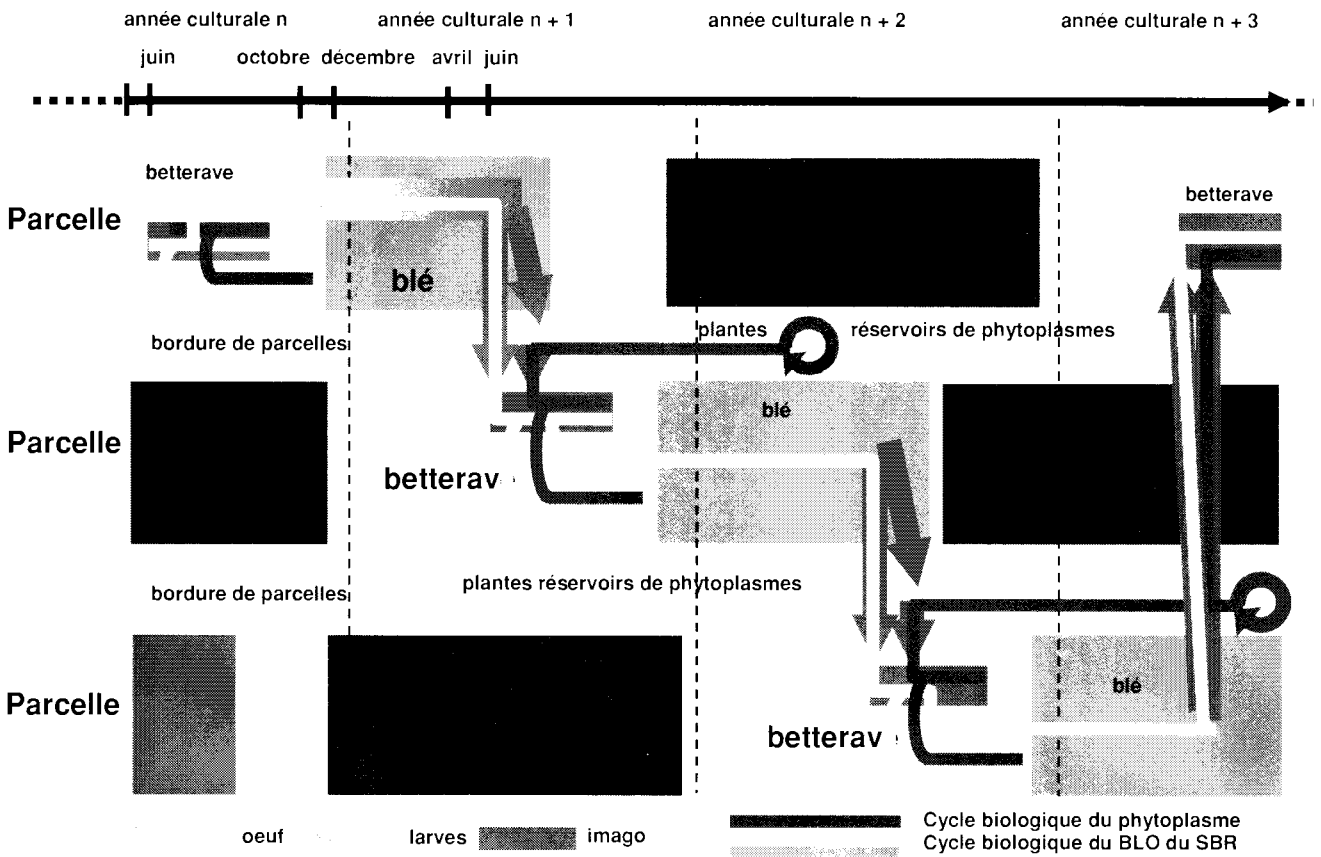


Figure 5. Biologie de la reaction du BLO et du phytoplasme associés au SBR par *Pentastiridius beieri* dans le système cultural de la betterave sucrière en Bourgogne
 Biology of reaction of SBR-associated BLO and stolbur phytoplasma by *Pentastiridius beieri* in the cropping system of sugar beet in Burgundy



La lutte contre les maladies associées à ces agents pathogènes ne peut être directe, car aucune méthode n'est connue pour guérir les plantes infectées. Il faut donc lutter préventivement de façon indirecte contre les réservoirs et les vecteurs de ces bactéries parasites. La connaissance du cycle biologique de *P. beieri* permet dès à présent d'envisager des méthodes de lutte, qui interrompraient le cycle de l'insecte. Ces solutions en cours d'expérimentation peuvent être :

-la modification de l'assolement qui ne fournirait pas de plante hôte intermédiaire à l'insecte entre deux campagnes de culture de la betterave

-l'introduction dans l'assolement d'une culture après betterave ne permettant pas aux larves de l'insecte vecteur de terminer leur cycle.

-l'utilisation ciblée d'insecticides pour éradiquer ou diminuer significativement les populations de *P. beieri* dans l'environnement des cultures betteravières.

REFERENCES

1. RICHARD-MOLARD, M., GARESSUS, S. MALATESTA, G., ORNY, G., VALENTIN, P., REINBOLD, C., GERTS, M., BLECH, F., FONNE, G., PUTZ, C., GROUSSON, C. & BOUDON-PADIEU, E. Le syndrome des basses richesses – Investigations au champ et tentatives d'identification de l'agent pathogène et du vecteur. *58ème Congrès de l'Institut International de Recherches Betteravières, Dijon-Beaune, 19-22 juin 1995*, 299-309.
2. GATINEAU F. Rôle étiologique du phytoplasme du stolbur et d'un Bacterium-like organism (BLO) dans le syndrome des basses richesses (SBR) de la betterave sucrière (*Beta vulgaris* L.). Epidémiologie de la maladie et biologie du vecteur identifié, le cixiide *Pentastiridius beieri*, Wagner. *Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Sciences de la vie et de la santé, Dijon, 29 mai 2002*.
3. SFORZA, R., CLAIR, D., DAIRE, X., LARRUE, J., BOUDON-PADIEU, E. The role of *Hyalesthes obsoletus* (Hemiptera : cixiidae) in the occurrence of Bois noir of grapevine in France. *Journal of Phytopathology*, 146, 549-556, 1998
4. GATINEAU, F., LARRUE, J., CLAIR, D., LORTON, F., RICHARD-MOLARD M. & BOUDON-PADIEU, E. A new natural planthopper vector of stolbur phytoplasma in the genus *Pentastiridius* (Hemiptera: Cixiidae). *European Journal of Plant Pathology*, 107 (3), 263-271, 2001.
5. GATINEAU, F., JACOB, N., VAUTRIN, S., LARRUE, J., LHERMINIER, J., RICHARD-MOLARD, M. & BOUDON-PADIEU E. Association of a phytoplasma and a bacterium-like organism both transmitted by a *Pentastiridius* species with Syndrome des basses richesses of sugar beet. *Phytopathology*, 92 (4), 384-392, 2002.
6. MUMFORD, R.A., POTYONDI, L., HARJU, V.A. & HENRY, C.M. The identification of a phytoplasma from the Aster yellows group infecting sugar beet in Hungary. *Plant Pathology*, 49, 806, 2000.