

PIClégTM	Programme national de recherche sur la Production Intégrée des Cultures légumières	Réservé à l'organisme gestionnaire N° de dossier :
	Réponse à l'appel à projets	

A - Contenu scientifique et technique

Titre du projet	Gestion des bioagresseurs telluriques dans la succession en systèmes légumiers de plein champ : effets de l'insertion de cultures assainissantes sur la maîtrise des épidémies.
Acronyme	BATICA <u>B</u>io<u>A</u>gresseurs <u>T</u>elluriques et <u>I</u>nsertion de <u>C</u>ouverts <u>A</u>ssainissants
Responsable	Françoise Montfort (équipe EPSOS, UMR BiO3P INRA Le Rheu)

1 Contexte et enjeux du projet (1,5 page maximum)

1.1 Contexte et enjeux scientifiques et techniques

Travaux déjà réalisés sur le même sujet au plan national et international : étude bibliographique et critiques.

Dans le contexte actuel de réduction des intrants phytosanitaires, et notamment de limitation des pratiques de désinfections chimiques des sols, les systèmes légumiers de plein champ, pour la plupart encore conduits de manière intensive, sont confrontés à une montée en puissance des problèmes parasitaires telluriques. De par les spécificités de ce type de parasitisme, même s'il existe des possibilités d'interventions tactiques au niveau de la culture à protéger (à l'implantation ou en cours de culture), c'est davantage à l'échelle pluriannuelle que l'on peut agir pour réduire les risques : action passive (ex : culture non-hôte), mais également perturbation de l'inoculum de façon plus active (ex : cultures libérant des composés toxiques, travaux du sol pour localiser de façon différentielle l'inoculum et les racines hôtes...).

Ainsi, la biofumigation, qui consiste à cultiver, puis broyer et enfouir à un stade donné certaines Brassicacées, choisies pour leur haute teneur en glucosinolates précurseurs d'isothiocyanates toxiques (Réau et al, 2005) ou certaines Alliacées, peut permettre de réduire les problèmes de bioagresseurs telluriques (nématodes, champignons, adventices, bactéries). Un programme de recherche actuellement conduit à Rennes sur grandes cultures (betterave sucrière) démontre l'intérêt de ce type de pratique : la culture d'une variété à haute teneur en sinigrine de *Brassica juncea* (moutarde brune), puis son enfouissement permet de limiter la pourriture brune à *Rhizoctonia solani*. On y démontre la complémentarité des étapes successives de l'interculture selon les phases épidémiques successives (depuis la mobilisation de l'inoculum pour des infections primaires à l'extension spatiale de la maladie par infections secondaires) (Motisi et al, 2008). D'autre part, les travaux effectués dans le cadre du Programme National Carotte ont permis de montrer les potentialités de certains couverts végétaux pour la maîtrise des bioagresseurs telluriques, nématodes et champignons.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet : de nombreux travaux mettent en évidence les potentialités de techniques d'assainissement par l'insertion de couverts spécifiques, prises individuellement et surtout associées, mais aussi leurs limites actuelles (Chellemi, 2002) : en conditions naturelles, le principal facteur limitant à leur adoption est la variabilité des résultats, qui s'explique par la complexité des interactions et des processus mis en œuvre. Les effets directs et indirects de couverts potentiellement assainissants doivent être explorés et analysés de manière rigoureuse si l'on veut progresser vers l'utilisation de telles possibilités alternatives à la lutte chimique (Matthiessen et Kirkegaard, 2006, Motisi et al, 2007).

Le type de stratégie optimale dépend, bien sûr :

- des profils de bioagresseurs visés, différant par leur niveau de polyphagie, l'existence ou non d'organes de survie, leurs capacités de colonisation saprophytique...
- du système de culture dans lequel s'inscrivent ces techniques : les créneaux réservés à la santé des sols varient selon les contextes de production, et tant la conduite que la destruction du couvert assainissant est à optimiser dans le système considéré.

Nous proposons ici d'étendre et valoriser, sur cultures légumières de plein champ, les avancées et hypothèses formulées dans le cadre particulier de la pourriture brune sur betterave sucrière. Nous étudierons les problèmes fongiques telluriques de la carotte, culture de première importance en plein champ. D'un point de vue scientifique, ce choix nous permet de traiter les 2 thèmes explicités ci-dessus, car :

- la carotte héberge, au niveau de son système racinaire, un cortège de bioagresseurs fongiques aux traits épidémiologiques différents, par exemple pour le niveau de polyphagie et les capacités de colonisation saprophytique.

- la carotte est une espèce légumière cultivée en France dans des contextes culturels et pédoclimatiques extrêmement différents (depuis des bassins maraîchers traditionnels du Cotentin ou du Sud-Est, où les rotations sont principalement légumières, aux nouveaux bassins de production d'Aquitaine, conduits en grandes cultures). C'est donc un cas d'étude intéressant pour l'adaptation et l'optimisation de pratiques d'interculture.

Les enjeux scientifiques de ce projet sont donc d'analyser, sous les angles biologique et agronomique, les effets de l'insertion de couverts assainissants sur la régulation des pathosystèmes. La démarche proposée associe modélisation et expérimentations, pour que les sorties en termes de gestion aient un caractère de généralité, selon les profils de bioagresseurs et selon les contextes de production. Elle est très complémentaire de celle proposée dans le projet Neoleg, qui prévoit entre autres des analyses très systémiques.

1.2 Contexte et enjeux économiques

Pertinence et portée du projet par rapport à la demande économique, analyse de la concurrence, indicateurs de réduction de coûts, perspectives de marchés (champs d'application, ...).

Les impasses techniques dans lesquelles la production agricole se trouve ou va rapidement se trouver sont pour beaucoup liées au retrait ou abandon de certaines substances actives, et plus généralement à la politique de limitation des pesticides maintenant inévitable. La montée en puissance de problèmes est déjà effective pour certains bioagresseurs telluriques, et très prévisible pour d'autres. Face à cela, les potentialités d'innovations telles que celles que nous proposons d'étudier sur cultures légumières de plein champ sont claires d'un point de vue technique, sous réserve des recherches systémiques et des optimisations proposées dans ce projet, ainsi que dans les autres projets du GT3 de PICLég. La question de leur coût et des conditions économiques dans lesquelles ces pratiques peuvent prendre en place en fonction des politiques agricoles et environnementales actuelles et à venir est cependant primordiale. Nous étudions déjà ce type de problématique sur grandes cultures dans le cadre d'un programme ANR (ADD IMPACTS : « Impacts marchands, non marchands et structurels des réformes des politiques agricoles et agri-environnementales »), en collaboration entre équipe EPSOS, agronomes et économistes. Les collaborations maintenant engagées avec l'équipe d'Alain Carpentier sur cultures légumières (cf PICLég EcoPhytoSys-Légumes) devraient permettre, à terme, de prendre en compte les spécificités des systèmes légumiers pour évaluer dans ce cadre les impacts économiques des innovations et envisager les mesures d'accompagnement.

1.3 Contexte et enjeux environnementaux

Indicateurs des gains environnementaux.

Les bioagresseurs telluriques sont des cibles difficiles à atteindre et font l'objet de désinfections de sols. Si les produits les plus toxiques, comme le bromure de méthyle, sont d'ores et déjà retirés du marché, d'autres spécialités chimiques sont encore largement utilisées. De plus, des traitements fongicides en végétation sont également très utilisés vis-à-vis de plusieurs maladies telluriques. L'objectif est de mettre au point des stratégies de contrôle de ces bioagresseurs ayant moins recours à la lutte chimique.

Le choix de diversifier les rotations légumières et de recourir aux couverts végétaux entre cultures commerciales permet de répondre à ce premier objectif environnemental tout en contribuant à une protection des sols contre l'érosion, à une maîtrise des fuites en nitrates vers les nappes d'eau (rôle de CIPAN). Ces mêmes intercultures peuvent également être considérées comme des éléments enrichissant le paysage ou constituant des ressources (alimentaires, couvert) pour les auxiliaires et la faune sauvage, mais aussi hélas peut-être pour d'autres bioagresseurs (la question de leurs effets non-intentionnels vis-à-vis, par exemple, des limaces, de la mouche du chou...est posée). Globalement, elles contribuent à une certaine diversification des espèces cultivées, ainsi que des périodes et des espaces de culture.

D'une manière générale, les impacts environnementaux, tant recherchés que non-intentionnels, de telles innovations ne sont pas encore traités. Le projet PICLég EcoPhytoSys-Légumes devrait permettre une première approche de certains des impacts (en termes de ravageurs et d'auxiliaires, ainsi que de qualité agronomique) puisqu'une de ses principales tâches va consister à accompagner un groupe d'agriculteurs-acteurs et évaluer les conséquences de l'évolution de leurs pratiques.

2 Objectifs et caractère innovant du projet (1 page maximum)

Décrire la finalité du projet ainsi que ses objectifs (si possible quantitatifs), en précisant son caractère innovant. Mentionner les projets liés à cette proposition bénéficiant ou ayant bénéficié de financements publics (nationaux, européens) et impliquant un ou plusieurs des partenaires. Préciser l'articulation de cette proposition avec ces projets.

L'objectif du projet est d'étudier l'intérêt, les effets indésirables et les contraintes techniques de changements de pratiques de successions culturales basés sur l'insertion de couverts végétaux à potentiel assainissant vis-à-vis d'agents pathogènes telluriques majeurs de la carotte, et plus largement des cultures légumières (les *Rhizoctonia*, *Pythium* et *Phytophthora*). L'enjeu plus global que notre équipe EPSOS poursuit est l'intégration de telles innovations de gestion des maladies au sein de systèmes de culture et l'évaluation de leurs performances agronomiques, économiques et environnementales.

La démarche est d'associer expérimentations et modélisation épidémiologique des processus en jeu, de façon à ce que les sorties en termes de gestion soient adaptées aux situations de production, tout en ayant un caractère de généralité des épidémies polyétiques telluriques. Pour ce faire, nous analyserons sous l'angle biologique et agronomique les perturbations recherchées et non-intentionnelles induites par l'insertion de ces couverts sur l'évolution des pathosystèmes. Les champignons pathogènes retenus diffèrent par leurs caractéristiques épidémiologiques (survie, dispersion, taux d'infections primaire et secondaire).

Différents niveaux d'approche nous permettront de mesurer tant la résultante que les différentes composantes des effets des couverts insérés sur les dynamiques épidémiques : c'est ainsi que trois types d'échelles d'étude, tant spatiales que temporelles, seront considérés :

- des successions culturales en conditions naturelles (parcelles expérimentales de stations et parcelles de producteurs),
- des successions culturales accélérées en conditions contrôlées en tunnels froids,
- des expérimentations très simplifiées en microcosmes pour paramétrer plus finement les modèles épidémiologiques adaptés à nos espèces pathogènes et quantifier précisément les processus affectés.

L'analyse de la dynamique épidémique associera quantification de niveaux d'inoculum et cinétiques d'expression des dégâts.

Le caractère innovant du projet repose sur ce couplage entre dispositifs expérimentaux en situations de production et approches simplifiées, voire très simplifiées, en systèmes artificiels. Ceci permettra de paramétrer et tester les modèles de dynamiques épidémiques polyétiques à l'échelle de la succession culturale. Les modèles ainsi obtenus permettront ensuite de simuler différentes actions et combinaisons d'actions, pour comprendre leurs effets sur les dynamiques épidémiques dans la succession culturale, au sein du système de culture.

Le projet a pour ambition de raisonner la gestion, i) en termes de cortèges de bioagresseurs telluriques, caractérisés par des profils épidémiologiques types, ii) en termes de grands types de couverts adaptés aux contextes de production, caractérisés par leurs modes d'action assainissants.

L'objectif appliqué est de proposer (i) des critères de choix (définition d'idéotypes) sur les meilleures plantes à effet assainissant en fonction des profils des différents pathogènes et pour des situations de production données, (ii) les éléments de gestion de ces couverts, et leur organisation au sein des itinéraires techniques, assurant la meilleure efficacité.

Ce projet est la suite logique d'un précédent projet ADAR (2005-2006, « Quels outils, méthodologies et connaissances pour concilier maîtrise du parasitisme tellurique et réduction des intrants phytosanitaires ? », chef de projet F. Montfort, chef de file SILEBAN). Il s'insère dans le RMT « Systèmes de Cultures Innovants » dans lequel l'équipe EPSOS et le SILEBAN émergent pour des sorties adaptées non seulement aux grandes cultures mais aussi aux agrosystèmes légumiers. Il fait partie également des priorités du « Programme National Carotte », à vocation de transfert vers la profession légumière.

Il a été élaboré de concert avec 2 autres projets PICLég (Neoleg et EcoPhytoSys-Légumes), et conjointement avec le projet CASDAR porté par le CTIFL (PraBioTel).

Les thématiques abordées et les sorties finalisées concordent avec celles que nous conduisons avec la filière pomme de terre (programme GNIS sur la gestion des affections superficielles de la pomme de terre) et avec la filière betterave sucrière (programme de thèse N. Motisi en cours).

Au niveau européen, l'équipe EPSOS est impliquée dans le cas d'étude légumes (« Field Vegetables Case Study ») retenu dans le Réseau d'Excellence Européen 'REX Endure', avec un focus particulier sur la biofumigation.

La participation de l'équipe EPSOS au programme ANR ADD IMPACTS permet de déjà analyser (en grandes cultures) les conditions économiques dans lesquelles ces pratiques peuvent prendre place en fonction des politiques agricoles et environnementales actuelles et à venir.

3 Verrous scientifiques et techniques qui seront levés (1/2 page maximum)

Détailler les verrous scientifiques et techniques levés par le projet.

Ce projet propose d'adapter et optimiser certains actes techniques de gestion selon les profils épidémiologiques des agents pathogènes et selon les grands types de situations de production. Dans ce cadre, différents verrous devraient être levés : de la même façon que nous le faisons actuellement au travers d'une thèse sur l'interculture en grandes cultures, le fait de suivre une cinétique d'apparition et d'extension d'une maladie au champ permet de décomposer l'action du couvert inséré sur les mécanismes épidémiques ; ceci autorise donc la formulation des hypothèses explicatives des effets observés. L'association à ces expérimentations en situations naturelles d'approches plus ou moins miniaturisées en conditions maîtrisées donnera des éléments explicatifs précis sur : i) les origines exactes de l'effet (ex : effet culture, effet enfouissement...) et ii) les conséquences sur l'ensemble des phases de l'épidémie (ex : effet sur l'inoculum dans le sol, effets sur les infections secondaires...).

Au-delà de l'identification de 'briques techniques' de construction de systèmes de culture intégrés, la modélisation proposée devrait ensuite participer à la simulation d'actions et de combinaisons d'actions pour ce type d'épidémies polyétiques. Evidemment, les travaux proposés s'adressent à une culture, la carotte, mais, de par la démarche, les sorties seront, nous l'espérons et sous réserve d'interconnections et très bonne communication entre les acteurs du GIS PICLég, des portes d'entrée tant pour d'autres champignons telluriques de profils épidémiologiques apparentés que pour la gestion d'autres cultures des rotations légumières.

L'implication forte des différents acteurs du projet dans les expérimentations est cruciale, car ce sont ces partenaires du développement qui ont les compétences agronomiques et phytotechniques pour appréhender la faisabilité et les contraintes de ces couverts selon les principales situations de production française de carotte en frais. L'expertise ainsi acquise et partagée lèvera des verrous techniques utilisables pour l'ensemble des productions légumières en sol.

4 Description détaillée des travaux (8 pages maximum)

Il s'agit de décrire le programme de travail décomposé en tâches, et éventuellement en sous-tâches. Cette décomposition en tâche est également à utiliser dans le tableau relatif au budget.

Pour chaque tâche/sous-tâche, décrire :

- Les objectifs (si possible quantifiés) de la (sous-)tâche
- Le responsable de la (sous-)tâche et les partenaires impliqués
- Les travaux prévus (si possible avec des indications quantitatives, méthodes de modélisation ou d'analyse, ...) et les contributions des partenaires (le « qui fait quoi »)
- Les risques de la (sous-)tâche et les solutions de repli envisagées
- Les livrables de la (sous-)tâche, leur caractère générique et la possibilité d'adaptation à d'autres contextes
- Les liens avec d'autres (sous-) tâches.

Organisation générale et liens entre tâches :

Pour l'ensemble des projets relatifs aux bioagresseurs telluriques (PICLég BATICA, PICLég Neoleg, Casdar PraBioTel, ainsi qu'une partie de PICLég EcoPhytoSys-Légumes), il va sans dire qu'un inventaire sur les leviers potentiels et les verrous identifiés en matière d'utilisation de pratiques améliorantes pour réguler les bioagresseurs telluriques est indispensable (particulièrement pour les systèmes de plein champ). Ce travail correspond à la tâche 1 du projet Casdar PraBioTel, dans laquelle tous les partenaires des différents projets sont acteurs. Il n'est donc pas explicité de nouveau ici.

Trois genres pathogènes majeurs des cultures légumières sont ciblés dans l'ensemble de ce projet : *Pythium*, *Rhizoctonia* et *Phytophthora*. Dans les tâches et sous-tâches, l'accent est mis sur une ou plusieurs espèces de ces 3 genres selon les objectifs poursuivis.

Nous nous intéresserons à plusieurs types de couverts (moutarde brune, radis fourrager, seigle, avoine, légumineuses, céréale de production...) selon leurs possibilités d'adaptation aux contextes culturels concernés. Cependant, un accent particulier est mis sur l'étude des effets de la moutarde brune (plus précisément, une variété à haute teneur en sinigrine) gérée en biofumigation, pour ses potentialités qui en font une interculture modèle dans l'équipe EPSOS.

Ce projet est scindé en 3 tâches correspondant aux 3 échelles d'étude décrites ci-dessus :

- tâche 1 : les recherches sont conduites en conditions naturelles, en conditions subies, et c'est une résultante globale que nous évaluons,
- tâche 2 : les recherches sont conduites sous tunnels froids, en conditions plus imposées, et la résultante mesurée peut être plus facilement interprétée,
- tâche 3 : les recherches sont conduites en microcosmes, en conditions totalement maîtrisées, et sont très analytiques.

Bien que ces 3 tâches soient décrites successivement, elles sont totalement concomitantes et extrêmement liées. Les paramètres déterminés lors de la tâche 3 seront des éléments explicatifs des dynamiques épidémiques observées dans la tâche 1 ou 2, qui elles-mêmes, en retour, permettront de formuler des hypothèses à tester.

Tâche 1 : Successions culturales en conditions naturelles pour une évaluation globale des effets pathologiques et agronomiques, ainsi que des contraintes techniques

Nous analyserons en situations naturelles les effets recherchés et non-intentionnels de l'insertion dans le système de culture de couverts végétaux à potentiel assainissant, ainsi que les contraintes techniques liés à leur gestion (pendant et à l'issue de leur culture). Cette évaluation portera sur :

- l'incidence et la sévérité des maladies racinaires des cultures de carotte succédant aux couverts à vocation assainissante,
- les impacts de ces successions en termes agronomiques : caractérisation des états du milieu et des peuplements végétaux, rendements et qualité des récoltes
- une première approche des marges de manœuvre et des contraintes pour la conduite de ces couverts (implantation, gestion et destruction) pour adapter, selon les différentes situations de production, l'itinéraire technique aux objectifs poursuivis.

Toute la tâche 1 a été organisée conjointement avec le projet Casdar PraBioTel. Elle s'appuie sur des expérimentations en conditions naturelles, donc nécessitant d'importants moyens d'expérimentation. Le coût de

ceux-ci sera demandé, pour les partenaires du développement (CTIFL, SILEBAN, Ceta Ste Anne et APREL, Hortis et OP Altus Aquitaine), pour partie au Casdar.

Cette tâche se décline en 5 sous-tâches, afin d'étudier l'intérêt et les limites des couverts proposés selon le contexte de production (systèmes de production très différents, caractérisés par le type de rotation et par les conditions pédo-climatiques).

Responsable et partenaires

Responsable : équipe EPSOS (UMR BiO3P Rennes) : F. Montfort, V. Faloya

Partenaires :

- SILEBAN (D. Breton, N. Aubrée),
- CTIFL (F. Villeneuve, J. Poissonnier)
- Hortis (E. Sclaunich)
- OP Altus Aquitaine (A. Euzen)
- CETA Ste Anne et APREL (F. Siri)

Travaux prévus communs aux 5 sous-tâches :

- a) Se placer ou reproduire des conditions d'épidémies correspondant à celles existant en situations de production. Pour ce faire, la culture d'un précédent favorable ou des infestations de sol s'avèreront souvent nécessaires ; mais nous placerons ces dernières suffisamment en amont dans la succession pour qu'elles s'apparentent à des épidémies naturelles.
- b) Insérer dans les successions culturales, avant carotte, les espèces à potentiel assainissant adaptées aux situations de production (espèces productives ou non). Ces précédents ou intercultures innovants seront comparés aux précédents classiques (poireaux, choux de production, maïs doux, pomme de terre primeur...).
- c) Mesurer la résultante des effets des couverts mis en place sur les dynamiques épidémiques :
 - 1 - cinétiques d'incidence et de sévérité des maladies étudiées
 - 2 - niveaux d'inoculum dans le sol (en utilisant le cas échéant nos outils de suivi des dynamiques de populations dans le sol / Q-PCR)
 - 3 - on reliera niveaux d'inoculum et expression des dommages pour analyser finement la résultante des effets des couverts mis en place sur l'inoculum d'une part, son efficacité à produire les dynamiques épidémiques, d'autre part.
- d) Mesurer la résultante des effets des couverts mis en place sur les principaux paramètres agronomiques, par la caractérisation des états du milieu et des peuplements végétaux.
- e) Appréhender par l'expertise agronomique et pathologique le poids respectif des différents facteurs potentiellement impliqués dans l'effet global mesuré : on formulera ainsi des hypothèses sur la part des effets directs et des effets indirects liés aux modifications agronomiques induites par l'insertion des couverts
- f) Recenser tous les indicateurs permettant d'estimer la faisabilité technique et les contraintes liées à cette innovation : les aspects économiques (en raisonnant en termes de marges), organisationnels (en termes d'organisation du travail) et techniques (les aspects agronomiques seront considérés, mais aussi la question des équipements en matériel agricole adéquat, semoirs par exemple). Evaluer avec les partenaires les possibilités, contraintes et verrous éventuels de mise en œuvre selon les contextes de production de carotte.

Sous-tâche 1.1 : situation de production type Côte Ouest de Basse-Normandie: rotation / carotte – carotte - poireau. Dans ce contexte où les Brassicacées légumières font partie des rotations, des couverts à base de graminées fourragères ou de production insérées avant carotte dans la succession culturale sont vraisemblablement plus judicieux que la moutarde brune. La maladie ici étudiée est celle d'importance sous ces conditions pédo-climatiques (cavity spot à *Pythium violae* (introduit)).

Dispositif blocs classique (sur la station expérimentale du SILEBAN).

Responsables sous-tâche 1 : Danielle Breton, ingénieur SILEBAN mise à disposition à l'INRA UMR BiO3P et Nathalie Aubrée, ingénieur SILEBAN

Partenaires impliqués : INRA UMR BiO3P, SILEBAN.

Sous-tâche 1.2 : situation de production type Aquitaine : rotation / 3 cultures de maïs grain – 1 culture de maïs doux - 15 mois de carotte (2 cultures successives). Le couvert à base de moutarde brune (*Brassica juncea*) insérée avant la 1^{ère} culture de carotte (primeur) sera privilégié, et la maladie cible de ces conditions du Sud-Ouest est le *Rhizoctonia solani* (introduit et endémique).

Expérimentation en bandes (pas de dispositif blocs) (Essai chez un producteur mais totalement géré par Hortis et Altus)

Responsables sous-tâche 2 : Jacques Poissonnier, ingénieur CTIFL mis à disposition à Hortis Aquitaine et Agnès Euzen, ingénieur OP Altus.

Partenaires impliqués : INRA UMR BiO3P, Hortis, SILEBAN.

Sous-tâche 1.3 (dans le cadre du réseau européen REX Endure ‘Field Vegetables Case Study’) : il s’agit ici d’une situation expérimentale simplifiée (domaine INRA) sur période courte (18 mois) ; l’objectif est l’analyse très fine et la modélisation des mécanismes en jeu dans l’effet allélopathique de *Brassica juncea* sur *Pythium sulcatum*, une des espèces responsables du Cavity spot, que nous avons également retenue dans les tâches 2 et 3.

Dispositif blocs classique (sur le domaine expérimental INRA du Rheu).

Responsables sous-tâche 3 : Françoise Montfort, Vincent Faloya et Philippe Lucas (INRA UMR BiO3P)

Partenaires impliqués : SILEBAN, partenaires européens du réseau REX Endure.

Sous-tâche 1.4 : situation de production type Sud-Est : rotation pomme de terre primeur – pomme de terre primeur – carotte de saison. Couverts à base de graminées fourragères, de moutarde brune et de légumineuses insérés avant carotte dans la succession culturale. Agents pathogènes étudiés : les populations endémiques de *Pythium spp.* et *Phytophthora spp.*.

Expérimentation en bandes (pas de dispositif blocs) (Essai chez un producteur mais totalement géré par le Ceta de Ste Anne)

Responsable sous-tâche 4 : Frédérik Siri, Ceta Ste Anne (13)

Partenaires impliqués : INRA UMR BiO3P, SILEBAN.

Sous-tâche 1.5 : essai longue durée mené par le CTIFL de Lanxade, avec 2 situations de production de carotte : l’une se rapprochant des conditions Aquitaine avec cultures de maïs, l’autre plus proche des conditions Basse-Normandie avec des cultures de poireaux et de choux. Les couverts végétaux expérimentés seront le radis fourrager et le seigle seul, et l’association des deux cultures. La culture de carotte interviendra en fin d’essai comme culture “révélatrice”. La maladie cible retenue ici est commune aux bassins de production de Normandie et d’Aquitaine : il s’agit du cavity spot à *Pythium sulcatum* (introduit). Les autres maladies endémiques seront également considérées.

Dispositif blocs classique (sur le domaine expérimental CTIFL de Lanxade)

Responsable sous-tâche 5 : François Villeneuve, ingénieur CTIFL Lanxade.

Partenaires impliqués : INRA UMR BiO3P, SILEBAN

Contributions des partenaires :

Sous-tâches 1.1, 1.2 et 1.3 :

+ Missions principales INRA UMR BiO3P : analyse fine et modélisation des dynamiques épidémiques. Caractérisation morphologique et moléculaire des espèces pathogènes et, le cas échéant, quantification de l’inoculum dans le sol (Q-PCR). Coordination générale des expérimentations.

+ Missions principales CTIFL, SILEBAN, OP Altus, Hortis : identification des conditions de mise en œuvre des couverts, mise en place et gestion des expérimentations en situations naturelles, suivi rapproché des expérimentations.

sous-tâche 1.4 :

+ Missions principales Ceta Ste Anne - APREL : identification des conditions de mise en œuvre des couverts, mise en place et gestion des expérimentations en situations naturelles, notation état sanitaire des carottes, suivi rapproché des expérimentations.

+ INRA UMR BiO3P : analyses phytosanitaires ponctuelles (caractérisation morphologique et moléculaire des espèces pathogènes)

sous-tâche 1.5 :

+ CTIFL : identification des conditions de mise en œuvre de l’essai système, mise en place et gestion des 2 types de rotation, notation état sanitaire des carottes et analyses phytosanitaires, suivi rapproché des expérimentations.

+ INRA UMR BiO3P (le cas échéant) : analyses phytosanitaires ponctuelles (caractérisation morphologique et moléculaire des espèces pathogènes)

Risques et solutions de repli

Le principal risque nous semble être celui de toute expérimentation en situation naturelle : importantes charges de travail, et hauts risques d'impondérables. Nous espérons y remédier en associant expérimentations en stations (SILEBAN, CTIFL et domaine INRA) et essais chez les producteurs.

L'autre risque concerne l'expression des maladies en conditions naturelles : il est clair que même une infestation artificielle du sol ne garantit pas un optimum de maladie (« ni trop, ni trop peu... »), puisqu'il est bien connu que les conditions de réceptivité du sol, de l'hôte, et les facteurs climatiques jouent un important rôle sur les maladies telluriques.

Cependant, ce projet sur l'insertion de couverts au sein de la succession culturale n'aurait pas beaucoup de sens sans ces analyses en situations de production. En outre, les essais conduits auront aussi valeur de démonstration, par exemple dans le cadre des MAE (cf projet PICLég EcoPhytoSys-Légumes).

Livrables :

Année 1

- Organisation du réseau d'essais à inclure par EPSOS et le SILEBAN dans le RMT Systèmes de Culture Innovants
- Elaboration, conjointement avec l'ensemble des partenaires PraBioTel et BATICA du cahier des charges de fonctionnement du réseau expérimental associé au projet.
- Elaboration d'un référentiel partagé de collecte pluriannuelle des pratiques mises en œuvre.
- 1^{ère} validation d'outils moléculaires de quantification des champignons du sol (*Pythium violae*, *P. sulcatum* et *Rhizoctonia solani* AG 2-2)
- Restitution à la Section Nationale Carotte (SNC) via les comités de pilotage du Programme National Carotte

Année 2

- Retour aux partenaires du projet d'informations du RMT Systèmes de Culture Innovants
- Rapport sur les méthodologies pour reproduire (ou orienter) des épidémies telluriques apparentées aux contaminations naturelles.
- Visites d'essais organisés pour les OP, en relation avec les stations expérimentales et la SNC
- Rapport technique sur l'implantation, la gestion, la destruction et, le cas échéant, l'enfouissement des différents couverts d'interculture selon les contextes cultureaux.
- Rapport de synthèse de l'année sur les effets pathologiques des couverts sur 3 localisations (4 cultures de carotte)
- Rapports de stage des 2 étudiants de Master 2
- Réunions d'échanges avec les autres partenaires européens du FVCS du REX Endure (Danemark et Italie)
- Publication scientifique sur les résultats multilocaux des 3 essais (sous-tâches 1,2 et3)
- Valorisation technique (articles dans revues de vulgarisation) sur les résultats multilocaux des 3 essais (sous-tâches 1,2 et3) : effets pathologiques, et conduite des couverts selon les contextes cultureaux.
- Restitution à la Section Nationale Carotte via les comités de pilotage du Programme National Carotte

Année 3

- Visites d'essais organisés pour les OP, en relation avec les stations expérimentales et la SNC
- Rapport technique sur l'implantation, la gestion, la destruction et, le cas échéant, l'enfouissement des différents couverts d'interculture selon les contextes cultureaux.
- Rapport de synthèse de l'année sur les effets pathologiques des couverts sur 3 localisations (4 cultures de carotte)
- Compte-rendu pour le REX Endure
- Rapport de stage d'un étudiant de Master 2
- Publication scientifique sur les résultats pluriannuels et multilocaux des 3 essais (sous-tâches 1,2 et3)
- Valorisation technique (articles dans revues de vulgarisation) sur les résultats multilocaux des 3 essais (sous-tâches 1,2 et3) : effets pathologiques, et conduite des couverts selon les contextes cultureaux.
- Restitution à la Section Nationale Carotte via les comités de pilotage du Programme National Carotte

Année 4

- Rapport de synthèse de l'année sur les effets pathologiques des couverts sur 3 localisations (4 cultures de carotte)
- Rapport de stage d'un étudiant de Master 2
- Valorisation technique (articles dans revues de vulgarisation) sur les résultats multilocaux des 3 essais (sous-tâches 1,2 et3) : effets pathologiques, et conduite des couverts selon les contextes cultureaux.
- Restitution à la Section Nationale Carotte via les comités de pilotage du Programme National Carotte

Tâche 2 : successions culturales accélérées en conditions maîtrisées sous serre pour minimiser les interactions et investiguer plus largement la gamme des couverts potentiels

Objectifs :

Sous-tâche 2.1 : l'objectif principal ici est d'acquérir les jeux de données biologiques adaptés à la modélisation d'épidémies polyétiques, de façon à formuler des hypothèses fortes sur le mode d'action de la biofumigation à *Brassica juncea* :

- 1) nous testerons ainsi des modèles qui couplent dynamique de l'inoculum et cinétique de maladie au cours de cultures et d'intercultures successives,
- 2) nous formulerons des hypothèses sur les processus épidémiques susceptibles d'être perturbés par les cultures insérées (densité d'inoculum, infections primaires, infections secondaires, vie saprophytique de l'inoculum...), et pourrions appréhender, sans toutefois l'analyser finement, l'importance de mécanismes indirects associés aux changements de sensibilité du système (réceptivité de l'hôte, évolutions chimiques possibles du milieu sol, modifications des équilibres microbiens).

Sous-tâche 2.2 : un 2^{ème} objectif, à partir de la 3^{ème} année de programme, est d'explorer plus largement la gamme des espèces végétales potentiellement intéressantes pour la biofumigation, en investiguant parmi d'autres familles botaniques à effet allélopathique (hors Brassicacées).

Responsables et partenaires : Toutes les activités de la tâche 2 seront effectuées à l'INRA Le Rheu (Equipe EPSOS et ingénieur SILEBAN associé). Responsables : F. Montfort et V. Faloya

Travaux prévus

Nous travaillerons en systèmes artificiels (serre et tunnel expérimentaux). Les successions culturales seront très simplifiées (successions carotte – intercultures - carotte). Ceci permettra de :

- raccourcir les cycles culturaux et miniaturiser les expérimentations, ce qui permettra dans un 2^{ème} temps de pousser plus loin l'innovation (choix d'espèces, modalités de gestion de ces couverts)
- maîtriser rigoureusement les facteurs étudiés et contrôler les données recueillies afin de faciliter les comparaisons toutes choses égales par ailleurs.

Les espèces pathogènes étudiées, *Rhizoctonia solani* AG 2-2 et *Pythium sulcatum*, sont représentatives de 2 profils épidémiologiques.

Les variables mesurées concerneront la dynamique de l'inoculum (quantification) et son expression parasitaire (cinétiques d'incidence et de sévérité) au cours des cultures de carotte et d'intercultures successives.

Les variables de contrôle concerneront l'ensemble des paramètres physiques, chimiques et biologiques associés.

Pour la 2^{ème} sous-tâche (autres familles botaniques que les Brassicacées), nous simplifierons les données mesurées (seules les variables de sorties, c'est-à-dire les données d'incidence et de sévérité de maladie à l'issue des cultures seront prises en compte). Cette étape n'interviendra que la 3^{ème} année du programme PICLég.

Risques et solutions de repli

Ce type d'expérimentations en bacs de culture est un compromis entre plein champ et essai miniature en pots. Il présente de ce fait une partie de leurs inconvénients : artificialisation du système tout en ne s'affranchissant pas totalement des interactions... Son principal intérêt est d'autoriser les répétitions dans l'espace, mais aussi dans le temps.

Livrables

Année 1

- 1^{ère} validation d'outils moléculaires de quantification des champignons du sol (*P. sulcatum* et *Rhizoctonia solani* AG 2-2)

Année 2

- Rapport de stage d'un étudiant de Master 2
- Validation d'outils moléculaires de quantification des champignons du sol (*P. sulcatum* et *Rhizoctonia solani* AG 2-2)

Année 3

- Modèle de simulation des dynamiques épidémiques de *R. solani* et *P. sulcatum*
- Publication scientifique sur les effets de successions de cultures et d'intercultures sur la dynamique des agents pathogènes et des maladies qu'ils provoquent.

Année 4

- Rapport de stage d'un étudiant de Master 1
- Publication technique sur les effets d'une gamme de différents couverts sur les maladies telluriques

Tâche 3 : expérimentations très simplifiées en microcosmes pour modéliser les processus en jeu

Objectif :

L'objectif ici est d'identifier comment les processus épidémiques sont perturbés par la culture de *B. juncea*, suivie de son enfouissement ; nous nous attacherons à :

Sous-tâche 3.1 : En préalable, identifier les caractéristiques biologiques clés des champignons pathogènes concernés (capacités de survie et/ou taux de déclin, modes et capacités de dispersion, capacités de colonisation saprophytique, taux d'infection primaire, secondaire, ...). Ceci nous permettra de paramétrer plus précisément nos modèles épidémiologiques.

Sous-tâche 3.2 : Identifier le(s) mode(s) d'action directe des différentes étapes de la biofumigation en fonction des profils épidémiologiques des pathogènes étudiés : mortalité et infectivité de l'inoculum primaire, dynamique et structure spatiale de colonisation de l'inoculum primaire, succès des infections primaires, dynamique spatiale et temporelle des infections secondaires

Les modèles ainsi adaptés seront utilisés selon les différentes situations de couverts des tâches 1 et 2 et nous permettront de confirmer ou infirmer les hypothèses formulées.

Travaux prévus :

Nous travaillerons en microcosmes expérimentaux dans le but de simplifier à l'extrême les situations et minimiser les interactions. Le mode d'action sera analysé sur les composantes de chacune des phases de l'épidémie prises individuellement. Ces paramètres seront alors intégrés comme éléments explicatifs des processus en jeu dans les épidémies polyétiques des autres tâches (successions cultures de production - intercultures assainissantes).

Responsables et partenaires : Toutes les activités de la tâche 3 seront effectuées à l'INRA Le Rheu (équipe EPSOS). Responsables F. Montfort, D. Bailey et P.Lucas.

Risques et solutions de repli

La simplification extrême peut conduire à des raccourcis hasardeux. Les allers-retours entre les différentes tâches permettront de rapidement mesurer les erreurs commises, et de les rectifier par des expérimentations plus adaptées.

Livrables

Année 1

- Mesure des paramètres d'entrée des modèles épidémiques des tâches 1 et 2

Année 2

- Rapport de stage d'un étudiant de Master 2
- Validation d'outils moléculaires de quantification des champignons du sol (*P. sulcatum* et *Rhizoctonia solani* AG 2-2)

Année 3

- Modèle de simulation des dynamiques épidémiques de *R. solani* et *P. sulcatum*
- Rapport de stage d'un étudiant de Master 1

Année 4

- Publication scientifique sur les impacts épidémiologiques de la biofumigation et sur les facteurs majeurs conditionnant son succès.

5 Organisation et pilotage du projet

Calendrier d'exécution du projet reprenant la structuration en tâche / sous-tâche donnée en 4.

Préciser les jalons. Préciser les aspects organisationnels du projet. Les projets peuvent courir sur 3 ou 4 ans

		Calendrier du projet ¹																							
Tâches et sous-tâches	année 2008						année 2009						année 2010						année 2011						
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	
Tâche 1																									
Sous-tâche 1.1			X	X	X	X			X	X	X	X			X	X	X	X			X	X	X	X	
Sous-tâche 1.2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Sous-tâche 1.3		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X													
Sous-tâche 1.4																	X	X	X						
Sous-tâche 1.5																X	X								
Tâche 2																									
Sous-tâche 2.1		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	
Sous-tâche 2.2													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Tâche 3																									
Sous-tâche 3.1		X	X	X	X	X	X																		
Sous-tâche 3.2							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

¹ Suggestion de présentation ; tout autre format de diagramme de Gantt peut être utilisé