



Biofumigation : un réel potentiel à exploiter



▲ 1 Culture de Brassica juncea pour biofumigation, juste avant broyage et enfouissement (photo Inra-Rennes).

Le procédé de biofumigation, quoique connu depuis longtemps, se développe peu en France. Les études se poursuivent concernant le choix des variétés les plus adaptées et l'itinéraire technique. Elles portent également sur les modes d'action, qui se révèlent bien complexes...

par Hélène Quenin

En septembre dernier, se déroulait à Louvain (Belgique) la 7^e conférence internationale sur la désinfection des sols. Environ 120 spécialistes se sont réunis pour partager quelque 80 communications et posters scientifiques : « Entre

le durcissement de la réglementation sur les pesticides et les préoccupations environnementales, la désinfection avec des fumigants devient plus difficile, y compris dans les pays en voie de développement », rapporte Jérôme Fritsch du L.N.D.S.-Qualis* à son retour du congrès. « Résultat, la majeure partie des travaux de recherche se focalise sur les pistes non-chimiques, comme la solarisation, les amendements organiques, la lutte biologique, le greffage, le hors-sol, les méthodes intégrées (diversification des cultures, réduction de la vulnérabilité génétique, produits phytopharmaceutiques sélectifs...) ** et... la biofumigation ! Cette dernière est souvent associée à une autre technique : biofumigation et solarisation (on parle de

*Laboratoire national d'études des techniques de fumigation et de protection des denrées stockées, à Villenave d'Ornon (33).

**K. Yacov et A. Vanachter, Crop and soil health following soil disinfection, 7^e congrès sur la désinfection chimique et non-chimique des sols, Louvain (Belgique), 13-18 septembre 2009.



biosolarisation), biofumigation et greffage (exemple, en Italie, d'un bon contrôle de la verticilliose sur aubergine*). »

La biofumigation comme alternative à la désinfection chimique des sols fait l'objet d'études depuis une dizaine d'années dans de nombreux pays. La méthode repose sur l'enfouissement de biomasse dans un sol bien préparé et humidifié. Les sources de biomasse sont multiples : fumier semi-décomposé, engrais verts, mais aussi herbe type ray-grass, composts, bouchons de moutarde (ou "pellets" en anglais)... Les plus étudiées aujourd'hui pour leurs effets biocides sont sans doute les brassicacées et les alliées.

POIREAUX ET OIGNONS

En se dégradant, les tissus des alliées (poireau, oignon, ail...) produisent des composés soufrés volatils. Les molécules émises sont des disulfures, comme le disulfure de diméthyle (D.M.D.S.), le disulfure de dipropyle (D.P.D.S.) et le disulfure de diallyle (D.A.D.S.). Différentes études avec les oignons et les poireaux par exemple ont montré une efficacité fongicide et insecticide très intéressante**. La méthodologie consiste essentiellement à enfouir des déchets de poireau, les écartes de tri d'oignon ou tout simplement le précédent cultural d'oignon et de poireau. Quelques résultats indiquent également des effets nématocides (étude sur *Meloidogyne incognita*) et acaricides. Toutes ces expérimentations concluent sur la possibilité d'utiliser les alliées en biofumigation des sols. Certaines conclusions évoquent même l'intérêt de sélectionner des espèces à fort pouvoir pesticide, comme cela a été réalisé en Italie avec les brassicacées (voir encadré).

Cette propriété a également suscité l'intérêt des chimistes. En effet, le D.M.D.S. est aussi un produit chimique industriel fabriqué pour différentes utilisations en raffinerie, pétrochimie, métallurgie... Son usage agricole débouchera probablement sur l'homologation d'un "biopesticide" (voir encadré).

*A Garibaldi *et al.*, Effect of brassica green manure and brassica pellets in combination with grafting and soil solarisation against *Verticillium* wilt of eggplant and *Fusarium* wilt of lettuce and basil, 7^e congrès sur la désinfection chimique et non-chimique des sols, Louvain (Belgique), 13-18 septembre 2009.
**ces différentes publications sur les propriétés des alliées sont consultables en ligne sur le site du Critt Innophyt (www.critt-innophyt.asso.fr).

Des variétés pour la biofumigation

La biofumigation est fortement développée en Italie par l'institut de recherche I.S.C.I. (Istituto sperimentale per le colture industriali) de Bologne. Cette structure a sélectionné 4 variétés pour la biofumigation, qui sont commercialisées sous le label Blufomula par Cerealtoscana (Livourne) : 'ISCI 20', 'ISCI 61' et 'ISCI 99' sont des sélections de moutarde brune *Brassica juncea*, différant entre elles par leur croissance, leur taux de biomasse et/ou de glucosinolates ; également 'Nemat', une sélection de roquette (*Eruca sativa*) citée comme ayant une action nématocide.

Pour en savoir plus : www.alterbromide.org, rubrique "Alternatives" ; www.blufomula.com



MOUTARDES, ROQUETTES...

Les brassicacées (ou crucifères) contiennent des glucosinolates qui, sous l'action d'enzymes spécifiques, se transforment en molécules toxiques et volatiles du type isothiocyanates (I.T.C.). Les espèces connues pour leur capacité à produire des I.T.C. sont les moutardes (*Brassica juncea* ou moutarde brune - photos 1 et 2 -, *Brassica nigra* ou moutarde noire), le canola ou colza (*Brassica napus*) ou encore la roquette (*Eruca sativa*). Ces plantes cumulent, à différents degrés, des propriétés à la fois fongicides, insecticides, nématicides, bactéricides et herbicides.

« Aujourd'hui, nous savons que la méthode fonctionne et, suivant le pathogène visé, s'il vaut mieux un broyage fin ou plus grossier pour un impact lissé dans le temps, quand irriguer, s'il faut bâcher... », explique Christian Icard, responsable technique à la Serail* (69) (voir encadré). « Nous pouvons répondre aux questions pratiques des producteurs et quelques-uns en Rhône-Alpes pratiquent la biofumigation. Mais il faut poursuivre les études, notamment sur le choix des espèces à utiliser. Il y a aussi des points négatifs. Par exemple, la gestion des

*Station d'expérimentation Rhône-Alpes et d'information légumes.

Homologation attendue du D.M.D.S.

L'institut de recherche sur la biologie de l'insecte de l'université de Tours (U.M.R. C.N.R.S. 6035) s'intéresse depuis une quarantaine d'années aux effets biocides des produits soufrés. Cette recherche aboutit à la possible mise sur le marché d'un "biopesticide" ou "pesticide organique d'origine naturelle". C'est ainsi que Jacques Auger, président d'Innophyt* et enseignant-chercheur à l'université de Tours (37), qualifie le D.M.D.S. parce qu'il est constitué de molécules chimiques déjà émises dans la nature par de nombreux végétaux et autres organismes vivants : « L'usage du D.M.D.S. en tant que pesticide n'entraînerait qu'un accroissement modeste de son abondance naturelle », estime le chercheur. Le produit chimique synthétisé par le groupe français Arkema pourrait obtenir une homologation aux États-Unis à la fin de l'année sous le nom commercial Paladin. « Son mode d'action est celui d'un fumigant classique contre différents pathogènes du sol sur de nombreuses cultures (notamment fraise, cultures légumières et cultures horticoles) », résume Gaël du Fretay, consultant pour Arkema (AberConsulting, Martillac, 33). « Le produit s'applique par injection (coudre) ou par goutte-à-goutte » (voir photo). Une demande d'évaluation du D.M.D.S. pourrait être rapidement déposée en Europe.

*centre régional d'innovation et de transfert de technologies, basé à l'université de Tours.



Fumigation par goutte-à-goutte : une technique qui se développe très fortement et qui ne nécessite ni tracteur, ni machine particulière (photo Jérôme Fritsch, L.N.D.S.-Qualis).

altises dans les cultures de brassicacées en plein champ. » De l'avis du responsable technique, la biofumigation est d'abord un procédé très intéressant pour rééquilibrer la population microbienne du sol. Il y aurait également des

points à explorer en culture de chou avec le broyage et l'enfouissage des déchets de récolte.

DES EFFETS COMPLEXES SUR LES ÉQUILIBRES MICROBIENS

Avec la biofumigation, la période d'interculture devient un créneau potentiel pour assainir un sol, ou au moins limiter les effets des pathogènes. C'est pourquoi l'unité U.M.R. BiO3P (Biologie des organismes et des populations appliquée à la protection des plantes) de l'Inra-Le Rheu (35) s'est également intéressée à cette technique. Dès 2002, le laboratoire testait le potentiel toxique des espèces de brassicacées. Les résultats *in vitro* se révélant intéressants, les études se sont poursuivies jusqu'à aujourd'hui, notamment sur l'action de cultures intermédiaires de moutarde brune sur *Rhizoctonia solani* : « La biofumigation présente un réel potentiel », résume Françoise Montfort, chargée de recherche Inra de l'U.M.R. BiO3P. Les résultats restent réguliers 3 années consécutives : dans une rotation betterave-blé, une culture intermédiaire de *B. juncea* réduit significativement l'inci-



▲ 2 Broyage et enfouissement de *Brassica juncea* conduit en biofumigation (photo Inra-Époisses).



Exemples d'études en cours en France et Suisse

- La **Serail*** (Brindas, 69) a démarré des essais de biofumigation en 2007 et 2008. L'objectif était de comparer différents engrais verts pour la biodésinfection des sols sous serre, et d'observer l'impact de cette technique sur le rendement et l'état sanitaire d'une culture de laitue d'automne. Ont été testés le sorgho fourrager (marque Sudal), la moutarde brune ('ISCI 20'), un mélange moutarde brune et radis fourrager (Terra Protect). En 2008 (essai microparcelle), une nouvelle lignée de moutarde ('ISCI 99') a été intégrée au protocole. L'intérêt de la biodésinfection s'est confirmé au cours de ces essais. En revanche, les effets des différents facteurs (bâche, type d'engrais vert, composés biocides) ou les interactions entre composants (modification des équilibres microbiens, compétitions interspécifiques, toxicité des NH_4^+ ...) se révèlent difficiles à distinguer. Différentes hypothèses restent à confirmer. Renseignements complémentaires auprès de : Serail, 123 chemin du Finday, 69126 Brindas, tél. 04 78 87 97 59, e-mail station.serail@wanadoo.fr

- La station de recherche **Agroscope Changins**, à Conthey (Suisse), a également communiqué sur des résultats encourageants obtenus avec la biofumigation. Différents essais sont menés en Suisse depuis 2003, entre autres contre la verti-

cilliose (*Verticillium dahliae*) sur fraisier et poivron. La station a également testé les variétés spécifiquement conçues pour la biofumigation par la société italienne Cerealtoscana (Bluformula) et les plantes biofumigantes conditionnées sous forme de bouchons ("pellets" en anglais) prêts à l'emploi (en 2006). À lire : "Biofumigation : principe et application", V. Michel, Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture, vol. 40, pp. 95-99, 2008. Sur l'Internet : www.db-acw.admin.ch. Renseignements complémentaires : Vincent Michel, centre de recherche Conthey, route des vergers 18, 1964 Conthey, Suisse, e-mail vincent.michel@acw.admin.ch, tél. (00 41) 273 453 511.

- Le **C.T.I.F.L.*** travaille depuis plusieurs années sur le thème de la biofumigation (Villeneuve F. et al., 2004, Possibility of using biofumigation in vegetable crops for controlling soilborne pathogens, Agroindustria, n° 3, pp. 395-398) et des pratiques améliorantes en général pour la protection des cultures. Son travail se poursuit avec 14 partenaires au sein du projet national Prabiote. À lire : "Vers l'utilisation de pratiques améliorantes : le projet Prabiote", Janvier C., 2009, Infos-C.T.I.F.L., n° 252, pp. 46-51.

*Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes.

dence du rhizoctone par rapport au témoin (sol laissé nu pendant l'interculture) en agissant principalement sur les infections primaires (contamination de la culture par l'inoculum déjà présent dans le sol). L'efficacité partielle, mais régulière (45 à 50 % d'efficacité dans ces essais), place la biofumigation comme une méthode à associer à d'autres techniques de lutte alternative à la lutte chimique.

Les études de l'Inra soulèvent une nouvelle hypothèse : « Il s'agit de la mise en évidence d'une persistance d'effet de la moutarde sur les agents pathogènes bien supérieure à la période de libération des composés organiques toxiques », explique F. Montfort. « Cela indique que des mécanismes complexes de régulation biologique seraient, au-delà de l'effet toxique des résidus, très importants pour la réduction de l'ex-

pression de la maladie. » L'enfouissement des résidus engendrerait-il des modifications microbiennes favorables au développement d'espèces de champignons antagonistes du type *Trichoderma* ? C'est en tout cas une hypothèse forte soulevée par les dernières recherches en date*. Les études se poursuivent pour comprendre par quels mécanismes et jusqu'à quel point la biofumigation pourrait affecter le développement et la dispersion des champignons du sol.

ENCORE BEAUCOUP À APPRENDRE

« Beaucoup de connaissances fondamentales restent à acquérir sur la technique et les principes d'action, ceci afin

*Natacha Motisi, thèse Inra/I.T.B. "Réguler les maladies d'origine tellurique par une culture intermédiaire de brassicacées : mécanismes d'action et conditions d'expression dans une rotation betterave-blé", 2009.

d'en mesurer les potentialités et les limites », explique J. Fritsch. Les principes d'action se révèlent multiples et complexes, tout à la fois physiques, chimiques et microbiologiques. L'élévation de la température, le dégagement de composés biocides, mais également des élévations de teneurs en CO_2 , en méthane et une baisse de la concentration en oxygène inhibent l'action des pathogènes. Cette méthode génère également une action positive sur la vie biologique du sol par l'entretien, voire l'augmentation, du taux de matière organique. Mais il y a aussi un impact sur la vie microbienne en général avec une possible amélioration du rôle de la flore antagoniste, une modification du cycle de l'azote avec accumulation de l'ion ammonium (NH_4^+), une augmentation de la compétition entre microorganismes en particulier pour les oligo-éléments (fer)... « Des travaux ont démarré ou vont démarrer pour connaître précisément ces différents mécanismes afin de mieux exploiter les potentialités de cette technique », résume J. Fritsch. « Des questions pratiques se posent également : quelle est la période idéale du positionnement de cette technique ? Quelle est son influence sur la fertilité du sol ? Quel type de matière organique apporter ? » Certains pays, dont les Pays-Bas, souhaitent mettre en place des outils de simulation et d'aide à la décision de cette technique, car les potentialités et les pistes sont multiples. L'aspect financier doit aussi être affiné : quel est le coût réel de la technique ? « Les Pays-Bas l'ont estimé à 4 000 €/ha H.T. toutes opérations comprises (préparation du sol, mise en culture de biomasse type herbe, broyage, enfouissement, compaction du sol en surface, irrigation, bâchage, débâchage et recyclage des films) », rapporte J. Fritsch. « La biofumigation a du mal à percer, en France tout du moins », conclut-il. « Car elle reste contraignante pour l'agriculteur : il faut d'abord faire pousser la culture puis la broyer et l'enfouir, voire la bâcher. Des pays comme l'Espagne et l'Italie sont beaucoup plus avancés dans ce domaine. » La biofumigation n'en reste pas moins une alternative à la désinfection chimique des sols à suivre de près. ■