

Fertilité du sol et bioagresseurs

La fertilité du sol repose sur une activité biologique riche, mais certains organismes du sol sont des bioagresseurs et menacent les cultures. Préserver la vie du sol impose donc de limiter ces nuisibles par des pratiques agronomiques et des méthodes biologiques adaptées.

 **P. Viaux**, membre de l'Académie d'agriculture depuis 2013, ingénieur agronome (ENSA de Nancy - 1972) et ingénieur en agronomie tropicale (1973)

Le sol est l'un des écosystèmes les plus riches en organismes de la biosphère. Leur activité conditionne la fertilité des sols. Elle est toujours très importante sous forêt, sous prairie et, dans une moindre mesure, dans les sols cultivés. Pour ces derniers, il est important de favoriser cette activité biologique car elle est indispensable à une bonne fertilité et conditionne les rendements des cultures.

Des bioagresseurs multiples

Parmi ces organismes, certains nuisent aux cultures (les bioagresseurs) et limitent fortement les rendements ou même détruisent complètement les cultures (rappelons le cas du phylloxéra, puceron ravageur qui, en 1865, détruisit presque totalement le vignoble français). La présence de bioagresseurs dans les sols fait donc baisser la fertilité. Pour la restaurer, il faut contrôler le développement de ces bioagresseurs d'autant plus que ceux-ci peuvent rester pendant de très nombreuses années dans le sol.

Il existe toutes sortes de bioagresseurs dans le sol. Les plantes adventices y sont présentes sous forme de graines ou de tiges souterraines. En



1. Pour lutter contre les nématodes vecteurs du virus GFLV (Grapevine Fanleaf Virus), la seule solution consiste à arracher la vigne et en replanter une nouvelle après six ans minimum car les nématodes vecteurs du virus sont capables de survivre dans le sol jusqu'à quatre ans après l'arrachage.

Photo : A. Fougereux

germant, en se développant, elles vont concurrencer les cultures (pour la lumière, les éléments minéraux, l'eau). Les champignons, connus souvent pour leur effet pathogène sur les parties aériennes des plantes, font une partie de leur cycle dans le sol et pour certains attaquent directement les racines. Enfin, les ravageurs sont des

animaux phytophages de toute taille. Les méthodes agronomiques de lutte (rotation longue, travail du sol) ne sont pas toujours efficaces ni faciles à mettre en œuvre et elles ont parfois des effets négatifs sur l'activité biologique (labour par exemple). On utilisera en complément, quand elles sont disponibles, des méthodes de lutte biologique. La lutte chimique reste l'ultime recours souvent nécessaire pour protéger les cultures.

RÉSUMÉ

CONTEXTE Les nombreux organismes qui concourent à l'activité biologique des sols favorisent une bonne fertilité. Une bonne activité biologique est nécessaire pour obtenir des rendements élevés tout en économisant des intrants. Cependant certains organismes présents dans le sol (les bioagresseurs) nuisent aux cultures et limitent fortement les rendements, ou même détruisent complètement les cultures.

ÉTUDE Pour maintenir une bonne fertilité des sols agricoles il faut donc lutter contre ces bioagresseurs (adventices, champignons, ravageurs)

en ayant un minimum d'impact sur les organismes utiles. Rotations, travail du sol, gestion des résidus, certains engrais verts et lutte biologique ont été étudiés afin de préserver les organismes utiles et limiter le recours aux produits chimiques.

RÉSULTATS On choisira pour lutter contre ces bioagresseurs de préférence des méthodes agronomiques (rotation longue, travail du sol...), ou la lutte biologique (nématodes).

MOTS-CLÉS Fertilité des sols, bioagresseurs, auxiliaires des cultures, adventices, ravageurs, travail du sol, rotation, nématodes.

Les adventices

Les adventices sont des plantes qui concurrencent et donc limitent le rendement des cultures. La maîtrise de leur développement est réalisée en partie par le travail du sol (labour, désherbage mécanique : hersage, binage, etc.) et doit souvent être complétée par des herbicides sélectifs. Mais ce contrôle n'est jamais parfait et une partie des plantes adventices va presque toujours échapper à ce contrôle annuel. Des graines vont être produites et les plantes vivaces se multiplier par les rhizomes. Les graines vont germer dans les cultures suivantes pendant plusieurs années. La maîtrise des adventices est donc importante

Délai de retour minimum d'une culture pour limiter le développement des maladies ou des bioagresseurs liés au sol. Effet du précédent culturel.

Cultures	Délai de retour minimal (en année)	Bioagresseurs incriminés	Précédents favorables ou à éviter
Blé tendre	2	Maladies du pied: piétin verse, piétin échaudage, Fusarium, nématodes, zabre, mouche grise	Ces champignons sont hébergés par plusieurs céréales à paille (triticale, seigle et avoine sont moins sensibles) ainsi que par le chiendent Favorable : colza, betterave, pois
Blé dur	3	Maladies du pied: piétin verse, très grande sensibilité au piétin échaudage, nématodes, zabre, Fusarium	Favorable : pois, soja. Éviter : blé tendre, orge
Orge d'hiver	3	Helminthosporiose, rhynchosporiose,	L'orge transmet sans y être très sensible le piétin verse et le piétin échaudage Favorable : blé, lin. Éviter : maïs, betterave
Pois	6	Aphanomyces, anthracnose, sclerotinia, différentes maladies des racines dont Fusarium, phoma	Le <i>Sclerotinia</i> est commun au pois, au soja, à la féverole, au tournesol et au colza Favorable : blé, orge
Féverole	5	Botrytis, Sclerotinia, anthracnose	Favorable : blé, orge
Soja	4	Sclerotinia	Le <i>Sclerotinia</i> est commun au pois, au soja, à la féverole, au tournesol et au colza Favorable : blé, orge
Colza	3	Phoma, Sclerotinia, hernie, ormbanche rameuse (plante parasite dans le Grand Ouest), altises, mouche du chou	Peu de parasites communs avec les autres cultures (sauf la betterave pour les nématodes et avec les légumineuses, le tournesol et le colza pour le <i>Sclerotinia</i>) Favorable : orge. Éviter : betterave, maïs
Maïs grain	1 ou 3	La monoculture favorise dans certaines régions la chrysomèle (<i>Diabrotica virgifera</i>), taupins, nématodes, mouches geomyze et oscinies, scutigerelle	Amplifie le piétin échaudage et la fusariose dans la rotation maïs/blé Favorable : blé, orge, lin Éviter : choux, colza, prairie
Tournesol	5	Sclerotinia, mildiou, phomopsis	Favorable : blé, orge. Éviter : colza
Lin graine et lin fibre	6	Anthracnose, brûlure due à <i>Thielaviopsis basicola</i> , Pythium, etc.	Pas de lutte chimique possible sur ces maladies Favorable : blé, orge. Éviter : colza, betterave
Betterave	4	Rhizoctone violet, nématodes, taupins, blaniules	Nématodes communs avec le colza; rhizoctone violet favorisé par la pomme de terre Favorable : Blé, orge. Éviter : maïs, colza

Liste plus complète dans Viaux P. (2003)

non seulement pour la culture en place, mais aussi pour limiter les adventices dans les cultures suivantes. La durée de vie dans le sol des graines d'adventice annuelle est variable suivant les espèces mais généralement assez longue et dans certains cas supérieures à une dizaine d'années. Il faut donc être vigilant pour éviter des infestations en particulier d'espèces dont la durée de vie dans le sol est élevée.

Toutes les semences d'adventice enfouies dans le sol ne donneront pas forcément une plantule. Une quantité

non négligeable de graines enfouies dans le sol disparaît par sénescence, par prédation ou parasitisme. D'autres vont germer mais n'iront pas au bout de leur cycle et ne donneront donc pas de nouvelles graines. S'il n'y a pas de réinfestation, on observe une diminution du stock semencier qu'on nomme « Taux annuel de décroissance » (TAD). Une espèce ayant un TAD du stock semencier élevé disparaîtra rapidement si elle ne produit pas de graines chaque année (par exemple le brome stérile, le vulpin ou le ray-grass). Dans

ce cas, une succession culturale bien gérée et un bon désherbage mécanique peuvent conduire à une diminution du salissement pour ces espèces. Les adventices à TAD élevé devront être gérées par un labour qui permet un enfouissement en profondeur de leurs graines. Une part importante des semences, perdant leur pouvoir germinatif la première année, ne pourront plus germer lorsqu'elles seront remontées en surface par un labour l'année suivante. Notons que ces espèces sont celles qui se multiplient le plus en technique de travail du sol simplifiée. Pour les espèces à TAD faible (rumex, mouron des champs, coquelicot, etc.), le stock semencier étant beaucoup plus persistant, le travail du sol a un rôle moins important. Dans ce cas il faudra jouer sur la rotation des cultures. Ainsi pour construire une rotation limitant le développement des adventices annuelles, on tiendra compte des périodes de levée des adventices. L'introduction d'une culture de printemps ou d'été dans la rotation permet de lutter efficacement contre les adventices d'automne. Les cultures d'été favorisent certaines espèces (graminées d'été : digitaires sétaires). Pour rompre le cycle de ces adventices, il faut dans la mesure du possible alterner les cultures qui ont des périodes de végétation différentes (culture d'été, culture de printemps, culture d'hiver). Pour les espèces qui lèvent à l'automne (coquelicot, vulpin, ray-grass), les faux semis et le décalage de la date de semis limitent l'infestation. Les espèces vivaces (chardons, chiendents, liserons, rumex, avoine à chapelet, etc.) sont difficilement maîtrisables par la rotation. Elles se reproduisent à la fois par graines mais aussi par des rhizomes (tiges souterraines) ou d'autres organes de multiplication végétative. Il ne faut pas se laisser déborder par ces plantes qui sont difficiles à détruire et qui peuvent pénaliser fortement le rendement des cultures. Pour maîtriser ces espèces, seul le labour et/ou le passage d'outils à dents en période sèche (en général en été ou en automne) a une certaine efficacité. Mais dans de nombreux cas le recours aux herbicides sélectifs ou aux herbicides totaux (en interculture) se révèle indispensable. Cette pratique est justifiée car le passage répété d'outils mécaniques est coûteux en énergie et donc en émissions de gaz à effet de serre (GES). Le travail du sol trop fréquent a par ailleurs pour effet de perturber la vie des organismes du

sol (entre autres les vers de terre, les mycorhizes, etc.) et dégrade la structure du sol.

Maîtriser des maladies cryptogamiques liées au sol

Les champignons sont très présents dans les sols : les bénéfiques (mycorhizes) comme les pathogènes. Répéter fréquemment une même culture dans une parcelle va conduire progressivement au développement de nombreuses maladies cryptogamiques. De nombreux champignons pathogènes des parties aériennes des plantes font une partie de leur cycle dans le sol et sont, de ce fait, des sources de contamination. Dans le cas des cultures pérennes, les feuilles contaminées par les champignons pathogènes tombent à l'automne. Les champignons passent

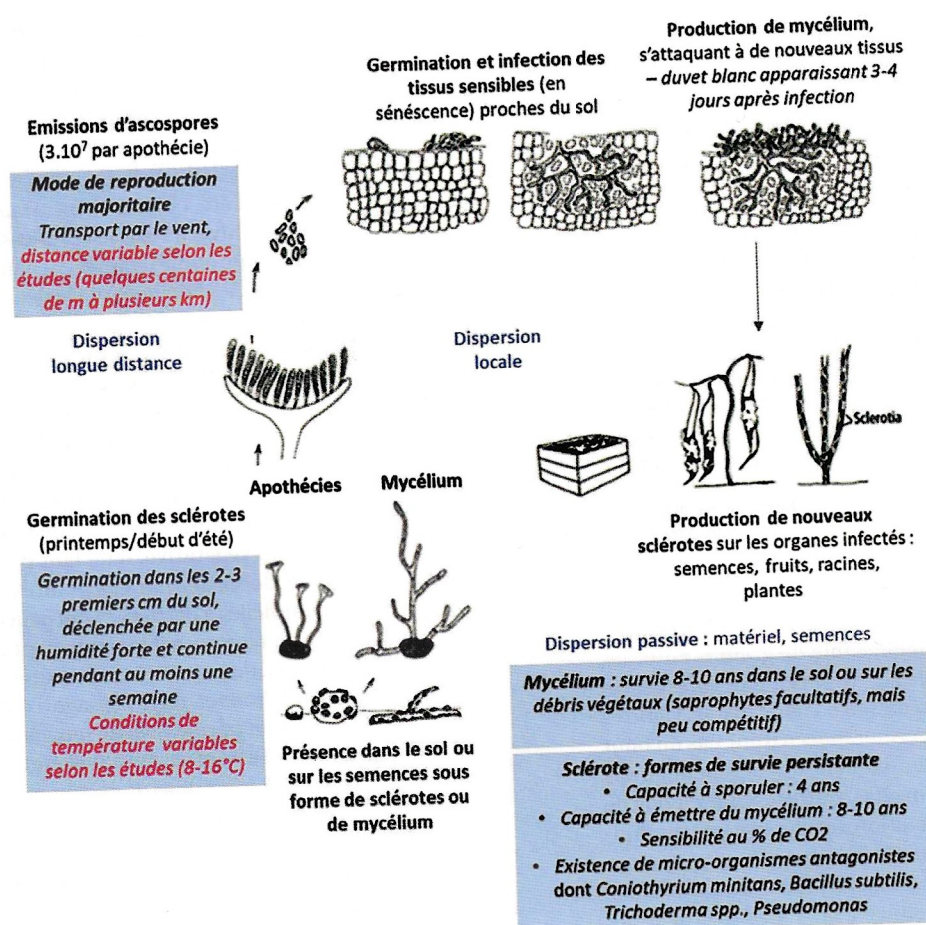
ainsi l'hiver au sol et sur les déchets végétaux car les mycéliums restent à l'intérieur des feuilles. D'où l'intérêt de broyer les feuilles à l'automne dans les vergers et/ou de les ramasser et de les composter (par exemple pour limiter

Le sclérotinia, maladie cryptogamique liée au sol

Le sclérotinia se développe aussi bien sur du colza, du tournesol, du soja ou des pois, ce qui rend la lutte agronomique par la rotation assez difficile et justifie d'utiliser d'autres méthodes de lutte (la lutte chimique et la lutte biologique). Ce champignon fait une partie de son cycle dans le sol. Les scléroties (mycélium compact) apparaissent dans les tiges (de colza, de tournesol, etc.) puis tombent au sol au moment de la récolte et peuvent persister dans le sol plusieurs années (six à dix ans) avant de germer. Ce pathogène peut occasionner, certaines années humides, jusqu'à 30 % de perte de rendement sur colza ou tournesol. La lutte contre ce champignon est restée jusqu'ici essentiellement chimique (traitement des parties aériennes). Mais la résistance du sclérotinia aux fongicides est régulièrement signalée depuis 1994. Depuis 2001, il existe une méthode de lutte biologique à base du champignon *Coniothyrium minitans*. La lutte est essentiellement préventive car elle vise à détruire les scléroties, un organe de conservation dans le sol du mycélium de sclérotinia.

FIG. 1 : LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LE SCLÉROTINIA, UN CHAMPIGNON PATHOGÈNE

Source : P. Viaux (2023)



(Agrios, 1997; Meslin et al., 2012; Villeneuve et al., 2017)

la tavelure des pommiers). Pour les cultures annuelles la diversification des cultures et donc l'allongement des rotations est une des méthodes les plus efficaces pour limiter ces pathogènes. Pour limiter les attaques, il faut éviter de revenir avec la même culture trop fréquemment sur la même parcelle. Le tableau (p. 15) donne pour quelques cultures les délais de retour minimum d'une culture sur une parcelle, pour limiter le développement des maladies et de certains autres bioagresseurs. Le délai de retour minimum d'une culture sur la même parcelle peut être particulièrement long dans certains cas. Ainsi dans une parcelle ayant été affectée par *Aphanomyces euteiches* (voir article J.-P. Rivière, *Phytoma* n°786), on conseille un délai minimal de retour du pois d'au moins six ans. De plus, comme on le voit dans ce tableau certaines maladies sont souvent hébergées par plusieurs cultures d'une même famille et même dans certains cas par des cultures de familles différentes (encadré sur le sclérotinia). Dans ce dernier cas, l'allongement des rotations a peu d'efficacité (Figure 1). Notons enfin que les espèces cultivées appartiennent à un nombre assez limité de famille (majoritairement : graminée, légumineuse, crucifère), ce qui favorise la transmission entre culture. Certaines cultures légumières appartiennent cependant à quelques familles spécifiques (liliacée, ombellifère). Dans les exploitations maraîchères, on peut être amené à cultiver beaucoup d'espèces d'une même famille. Dans ce cas il ne faut pas hésiter à introduire dans la rotation du blé ou une autre céréale pour rompre le cycle des maladies. Il faut noter que certains engrais verts (plantes de service) et certaines adventices peuvent aussi favoriser les maladies ou les ravageurs liés au sol. D'une manière générale, il ne faut pas que la culture qui suit un engrais vert soit de la même famille botanique.

Exemples de microarthropodes

(taille réelle < 2 mm)



- 2. Oribate (acararien).
- 3. Pseudoscorpion (arachnides).
- 4. Collembolle.
- 5. Lithobiidae (myriapode).

Photos : Arvalis (Boigneville, Essonne)

Maîtriser les ravageurs du sol

Le sol recèle une faune abondante et très diverse dont la plupart des espèces sont bénéfiques. Les microarthropodes (Photos 2 à 5) jouent un rôle très important dans la dégradation de résidus de récolte, et les carabidés et les arachnides sont d'excellents prédateurs de certains ravageurs (par exemple limaces et pucerons). Mais un certain nombre d'espèces sont phytophages et attaquent le système racinaire des cultures, et font non seulement baisser les rendements mais peuvent aussi déprécier fortement la qualité des récoltes. C'est le cas en particulier pour les cultures légumières (pomme de terre, carottes, etc.). On

rencontre dans le sol un très grand nombre d'espèces ravageuses : limaces, larves d'insectes (taupins, tipules), nématodes, etc. De plus, certaines d'entre elles transmettent des virus aux cultures. Pour ces

ravageurs les moyens de lutte chimique ou biologique sont parfois très limités. Les méthodes agronomiques de lutte qui visent généralement à perturber les habitats (par exemple le labour) peuvent avoir une certaine efficacité. Inversement la simplification du travail du sol, qui est favorable à l'activité biologique du sol, permet logiquement le développement de certains ravageurs. De manière plus générale, l'augmentation de l'activité biologique que l'on observe sous prairies et en technique de travail du sol simplifiée concerne aussi des espèces qui peuvent se révéler très nuisibles aux cultures. Les campagnols sont favorisés par ces techniques mais on constate aussi souvent, au

moment des implantations, des problèmes de limaces (sur toutes cultures), de thrips et de sitones sur pois (les larves de sitones se développent dans les nodosités des légumineuses comme les pois et les féveroles), etc.

Les nématodes : bioagresseurs et auxiliaires des cultures

L'activité biologique d'un sol est mal connue. Il existe une multitude d'interactions entre les organismes du sol dont certains sont favorables à la protection des cultures, d'autres défavorables. Ainsi, on peut trouver dans certains groupes à la fois des bioagresseurs et des auxiliaires, c'est le cas des nématodes. Les

nématodes sont très présents dans les sols agricoles, certains sont utilisés dans la lutte biologique. Mais certains causent d'importants dégâts directs, en piquant les racines et indirects en servant de vecteurs à des viroses (comme sur les betteraves dû à

Heterodera schachtii, ou le court-noué de la vigne dû au nématode *Xiphinema index* et au virus GFLV – Grapevine Fanleaf Virus). La lutte chimique contre les nématodes est impossible en grandes cultures, en maraîchage et même en vigne, les produits chimiques utilisés par le passé étant très toxiques pour l'ensemble de la faune du sol.

Nématodes ravageurs

Nématode à kyste de la betterave.

Dans le sol, les adultes de nématodes produisent des œufs regroupés dans des kystes. Les kystes se conservent dans le sol cinq à six ans. L'éclosion des œufs a lieu dans les kystes. Les larves font plusieurs mues dans le sol

puis les larves filiformes pénètrent dans les radicules de betterave grâce à leur stylet. Dans la plante, les sécrétions salivaires du parasite provoquent le développement de cellules géantes, lesquelles entravent la circulation de la sève et provoquent la mort des radicules. La plante réagit en formant de nouvelles radicules, donnant naissance à un chevelu dense. Les parasites restent longtemps dans le sol soit sous forme d'œuf, soit parce qu'ils se développent sur des plantes hôtes. Comme toujours on peut jouer sur la rotation, en ayant un délai de retour de la betterave dans la rotation supérieure à quatre ans, et en évitant les cultures hôtes comme le colza. Il est intéressant d'utiliser certains engrais verts qui permettent de faire baisser fortement les populations de nématodes parasites. Le mécanisme est le suivant. Les racines de certains engrais verts exsudent une substance stimulant l'éclosion des œufs. Les nématodes se développent dans l'engrais vert mais ils sont incapables de se reproduire car les engrais verts sont détruits avant la formation des kystes.

En viticulture pour lutter contre le court-noué de la vigne. Pour lutter contre les nématodes vecteurs du virus GFLV, la seule solu-

6. Il existe une multitude d'interactions entre les organismes du sol, dont certains sont favorables à la protection des cultures, d'autres défavorables.

Photo : Apad



tion consiste à arracher la vigne et à n'en replanter une nouvelle qu'au bout de six ans minimum car les nématodes vecteurs du virus sont capables de survivre dans le sol jusqu'à quatre ans après l'arrachage. On estime même que le temps de repos idéal pour limiter la présence du virus se situe entre sept et dix ans. Malheureusement, ces délais sont difficiles à respecter pour des raisons économiques. Pour raccourcir ce délai le choix de porte-greffe tolérant est possible, mais il est conseillé d'utiliser des crucifères efficaces contre les nématodes avant la replantation. Certains engrais verts comme la phacélie, le sarrasin, le sorgho sont à bannir pendant l'interculture car ce sont des plantes hôtes des nématodes vecteurs du virus GFLV.

Nématodes auxiliaires des cultures

Les nématodes parasites d'insectes sont connus depuis longtemps, mais leur utilisation pour la lutte biologique en protection des cultures est assez récente. Deux familles sont exploitables en lutte biologique : ce sont les *Steinernematidae* et les *Heterorhabditidae*. Ces nématodes qui possèdent une bactérie symbiotique ont une efficacité remarquable. Ils infestent une très large gamme d'insectes mais ont l'avantage de ne s'attaquer ni aux mammifères ni aux végétaux. Ils peuvent être facilement élevés et sont formulables sous forme de bio-insecticide. Le nématode envahit l'insecte par ses ouvertures naturelles. Les bactéries



entomopathogènes, vivant en symbiose avec les nématodes, sont alors libérées et vont se multiplier au contact du sang de l'insecte et provoquer une septicémie. Les enzymes secrétées par les bactéries aident à décomposer la dépouille en la convertissant en ressources nutritives assimilables par les nématodes. La mort de l'insecte est provoquée par la septicémie en 24 à 48h. Il existe dans le commerce de nombreuses spécialités utilisant cette technique qui permettent de lutter, entre autres, contre les courtilières, les otiorrhynques (charançons), les larves de tipules, les vers blancs du hanneton, etc.

7. Les couverts végétaux peuvent favoriser la lutte contre certains bioagresseurs du sol.
Photo : C. Nioncel

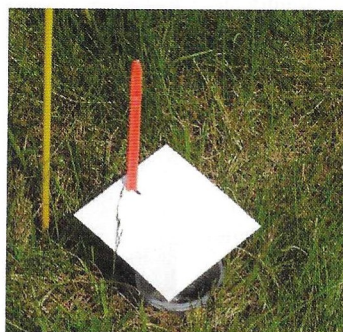
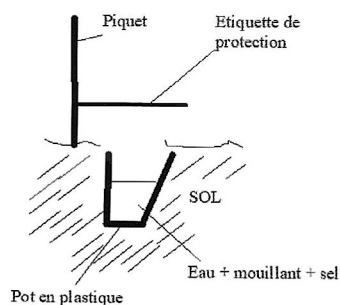
Protéger les cultures sans nuire à l'activité biologique

Protéger les cultures contre les bioagresseurs du sol est, on vient de le voir, extrêmement complexe. Si par le passé on misait principalement sur la lutte chimique, la volonté aujourd'hui de protéger l'activité biologique du sol conduit à diversifier les modes d'action. Nous avons vu dans cet article quelques exemples de luttes. Mais il existe d'autres formes de lutte naturelle à découvrir et beaucoup de recherches seront encore nécessaires. ▶

Méthode d'échantillonnage des arthropodes avec des pots pièges

Les arthropodes (insectes, araignées, staphylins) sont récoltés grâce à des pièges de Barber, type gobelet en plastique de 7 cm de diamètre. Un premier gobelet est enfoncé dans le sol, pour servir de moule au second qui recevra les arthropodes du sol. Les pièges doivent rester en place au moins deux mois (généralement mai, juin), car l'activité des arthropodes dépend beaucoup du climat.

Les pièges de Barber ou pièges d'interception sont très souvent utilisés pour réaliser des inventaires d'espèces, déterminer leur habitat préférentiel ainsi que la structure et la diversité des peuplements d'arthropodes du sol.



POUR EN SAVOIR PLUS

CONTACT : philippe.viaux@gmail.com

BIBLIOGRAPHIE :

• Viaux P., 2023. 10 clés - Une fertilité durable des sols agricoles. Éditions France Agricole, 232 p.

Lien utile : vidéo de présentation du programme Durban consultable sur www.youtube.com/watch?v=GHXGtPHn8Ss&t=160s

